

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
Programa de Pós-Graduação em Filosofia

Romeu Rossi Júnior

A DESIGUALDADE DE BELL E O PROBLEMA DO LIVRE-ARBÍTRIO

Belo Horizonte

2022

Romeu Rossi Júnior

A DESIGUALDADE DE BELL E O PROBLEMA DO LIVRE-ARBÍTRIO

Versão final

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Filosofia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Filosofia.

Orientadora: Profa. Dra. Patricia Maria Kauark Leite

Belo Horizonte

2022

100	Rossi Junior , Romeu.
R831d	A desigualdade de Bell e o problema do livre-arbítrio
2022	[manuscrito] / Romeu Rossi Junior. - 2022.
	150 f.
	Orientador: Patricia Maria Kauarc Leite.
	Tese (doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas.
	Inclui bibliografia
	1. Filosofia – Teses. 2.Livre arbitrio e determinismo - Teses. 3.O teorema de Bell - Teses. 4.Mecânica quântica - Teses. I. Leite, Patricia Maria Kauarc. II.Universidade Federal de Minas Gerais. Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas. III.Titulo.

Ficha catalográfica elaborada por Vilma Carvalho de Souza - Bibliotecária - CRB-6/1390



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FILOSOFIA

FOLHA DE APROVAÇÃO

A DESIGUALDADE DE BELL E O PROBLEMA DO LIVRE-ARBÍTRIO

ROMEU ROSSI JÚNIOR

Tese submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em FILOSOFIA, como requisito para obtenção do grau de Doutor em FILOSOFIA, área de concentração FILOSOFIA, linha de pesquisa Lógica, Ciência, Mente e Linguagem.

Aprovada em 26 de agosto de 2022, pela banca constituída pelos membros:

Profa. Patrícia Maria Kauark Leite - Orientadora (UFMG)

Prof. Osvaldo Frota Pessoa Júnior (USP)

Prof. Silvio Seno Chibeni (UNICAMP)

Prof. Leonardo de Mello Ribeiro (UFMG)

Prof. Roberto Horácio de Sá Pereira (UFRJ)

Belo Horizonte, 26 de agosto de 2022.



Documento assinado eletronicamente por **Roberto Horácio de Sá Pereira, Usuário Externo**, em 29/08/2022, às 20:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Osvaldo Frota Pessoa Junior, Usuário Externo**, em 30/08/2022, às 01:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **silvio seno chibeni, Usuário Externo**, em 30/08/2022, às 11:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Patrícia Maria Kauark Leite, Professora do Magistério Superior**, em 31/08/2022, às 09:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Leonardo de Mello Ribeiro, Professor do Magistério Superior**, em 31/08/2022, às 10:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1701042** e o código CRC **AE1D6004**.

Agradecimentos

Agradeço à minha orientadora Patrícia pelo entusiasmo, paciência e disposição na orientação deste trabalho;

Aos demais professores, funcionários e colegas do programa de Pós-Graduação em Filosofia da UFMG;

Aos amigos e familiares, pelo apoio e pelos momentos de descontração;

Ao meu pai, minha mãe, Nathália, Manuel e Marcus por todo apoio e tranquilidade que a nossa convivência me proporcionou;

À Nívea, pelo suporte, amor e companheirismo em todos os momentos.

Resumo

O teorema de Bell é baseado nas hipóteses de causalidade local e independência da medição. A última é identificada por Bell como ligada à hipótese da liberdade de escolha. Ele sustenta que, em última análise, o livre-arbítrio humano pode garantir a suposição de independência de medição. As condições experimentais incompletas para apoiar a suposição de independência das medições são conhecidas na literatura como *loophole* da liberdade de escolha (*freedom-of-choice loophole*). Parte da comunidade científica especializada defende que o uso de escolhas humanas em experimentos Bell é a única forma de garantir a hipótese de independência das medições. No entanto, a possibilidade da liberdade humana é uma antiga questão filosófica. Se a escolha humana não fosse livre, o seu uso em um experimento de Bell não seria suficiente para resolver o *loophole* da liberdade de escolha. Portanto, para sustentar esse pressuposto básico, é necessário argumentar que a escolha humana é de fato livre. Apresentamos aqui uma posição kantiana sobre o assunto e defendemos a visão de que essa posição filosófica é a mais adequada para garantir a hipótese da independência das medições através do livre-arbítrio.

Palavras-chave: livre-arbítrio, desigualdade de Bell, teoria kantiana da agência.

Abstract

Bell's theorem is based on the hypothesis of local causality and measurement independence. The latter is identified by Bell as linked to the freedom of choice hypothesis. He holds that ultimately the human free will can ensure the measurement independence assumption. The incomplete experimental conditions for supporting this third assumption are known in the literature as freedom-of-choice loophole. Part of the specialized scientific community assume that the use of human choices in Bell experiments is the only way to guarantee the measurement independence assumption. However, the possibility of human freedom is an ancient philosophical issue. If human choice were not free, its use in a Bell experiment would not be enough to close the freedom-of-choice loophole. Therefore, to support this basic assumption, it is necessary to argue that human choice is in fact free. We present here a Kantian position on the subject and defend the view that this philosophical position is the best way to ensure the measurement independence assumption through free will.

Keywords: free will, Bell inequality, kantian theory of agency

Lista de ilustrações

Figura 1: Representação esquemática do sistema proposto no teorema de Bell.	47
Figura 2: Estrutura causalcorrespondente a hipótese de causação superluminal.	54
Figura 3: Estrutura causalcorrespondente a hipótese de retrocausação.	55
Figura 4: Estrutura causalcorrespondente a hipótese do superdeterminismo.	56
Figura 5: Estrutura causalcorrespondente às hipóteses de Bell	58
Figura 6: Representação dos cones de luz passado dos eventos X e Y.	62

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	11
1 INDETERMINISMO QUÂNTICO E DESIGUALDADE DE BELL.....	29
1.1 O PRINCÍPIO DE INCERTEZA DE HEISENBERG.....	30
1.2 O EXPERIMENTO EPR.....	38
1.3 AS TEORIAS DE VARIÁVEIS OCULTAS.....	42
1.4 O TEOREMA DE BELL.....	46
1.5 O TEOREMA DE BELL E MODELOS CAUSAIS.....	51
1.6 A HIPÓTESE DA INDEPENDÊNCIA DAS MEDIÇÕES E O LIVRE-ARBÍTRIO.....	59
1.7 TESTE DE BELL COM ESCOLHAS HUMANAS.....	65
2 O PROBLEMA DO LIVRE-ARBÍTRIO E A HIPÓTESE DA LIBERDADE DE ESCOLHA NOS EXPERIMENTOS DE BELL.....	68
2.1 O PROBLEMA DO LIVRE-ARBÍTRIO.....	68
2.2 AS TEORIAS DA AGÊNCIA E O <i>LOOPHOLE</i> DA INDEPENDÊNCIA DAS MEDIÇÕES.....	71
2.3 A SOLUÇÃO COMPATIBILISTA.....	73
2.3.1 AS TEORIAS COMPATIBILISTAS E O <i>LOOPHOLE</i> DA INDEPENDÊNCIA DAS MEDIÇÕES.....	76
2.4 A SOLUÇÃO INCOMPATIBILISTA.....	77
2.4.1 AS TEORIAS DO EVENTO CAUSAL E O <i>LOOPHOLE</i> DA INDEPENDÊNCIA DAS MEDIÇÕES.....	79
2.4.2 AS TEORIAS DO AGENTE CAUSAL E O <i>LOOPHOLE</i> DA INDEPENDÊNCIA DAS MEDIÇÕES.....	83
2.4.3 AS TEORIAS NÃO CAUSAIS E O <i>LOOPHOLE</i> DA INDEPENDÊNCIA DAS MEDIÇÕES.....	89
2.5 EM BUSCA DE UMA TEORIA DA AGÊNCIA QUE APRESENTE UMA SOLUÇÃO ROBUSTA PARA O <i>LOOPHOLE</i> DA INDEPENDÊNCIA DA MEDIÇÃO.....	93

3 A TEORIA KANTIANA DA AGÊNCIA E SOLUÇÃO PARA O <i>LOOPHOLE</i> DA INDEPENDÊNCIA DAS MEDIÇÕES.....	96
3.1 A CAUSALIDADE NATURAL COMO PRINCÍPIO DA FACULDADE DO ENTENDIMENTO.....	97
3.1.1 CAUSALIDADE E DETERMINISMO EM KANT.....	103
3.1.2 A DISSOCIAÇÃO ENTRE A CAUSALIDADE E O DETERMINISMO.....	105
3.2 AS ILUSÕES TRANSCENDENTAIS E A FUNÇÃO REGULATIVA DAS IDEIAS TRANSCENDENTAIS.....	107
3.3 AS ANTINOMIAS DA RAZÃO PURA.....	109
3.4 A TERCEIRA ANTINOMIA.....	112
3.5 O CARÁTER EMPÍRICO E O CARÁTER INTELIGÍVEL DO ARBÍTRIO.....	115
3.5.1 O CARÁTER EMPÍRICO.....	116
3.5.2 O CARÁTER INTELIGÍVEL.....	118
3.6 A TESE DA INCORPORAÇÃO.....	120
3.6.1 A INTERPRETAÇÃO DOS “DOIS ASPECTOS” E A TESE DA INCORPORAÇÃO.....	123
3.7 A SOLUÇÃO KANTIANA PARA O <i>LOOPHOLE</i> DA INDEPENDÊNCIA DAS MEDIÇÕES.....	127
3.8 A CAUSALIDADE NATURAL E A VARIÁVEL OCULTA.....	128
3.8.1 AS VARIÁVEIS OCULTAS NA ESFERA FENOMÊNICA.....	129
3.9 A CAUSALIDADE PELA LIBERDADE.....	131
CONCLUSÃO.....	138
BIBLIOGRAFIA.....	145

INTRODUÇÃO

“Freedom’s just another word for nothing left to lose”.

Esse verso da canção “Me And Bobby Mcgee” de Kris Kristofferson, imortalizada pela versão de Janis Joplin, expressa de forma sucinta uma percepção do senso comum sobre liberdade. Segundo essa percepção, os vínculos que construímos através da nossa relação como o mundo, sejam eles materiais ou emocionais, se opõem à liberdade. A conexão entre o sujeito e o mundo exterior resultaria no inevitável favorecimento de algumas escolhas, enquanto outras seriam improváveis ou mesmo impossíveis. A própria formação dos vínculos seria determinada pelo contexto no qual o sujeito está inserido, dependendo assim de circunstâncias do mundo que não estariam sob seu controle. Assim, as escolhas do sujeito seriam uma espécie de subproduto do funcionamento do mundo. Nesse cenário o sujeito não seria a fonte de suas decisões, mas um mero espectador de sua própria vida.

Entretanto, há também no senso comum uma percepção contraditória àquela da canção de Kris Kristofferson. Quando devemos decidir sobre algo, temos a sensação de que somos autores de nossas escolhas. Somos muitas vezes inclinados a pensar, pela experiência subjetiva, que fazemos escolhas de forma livre e espontânea. Assumimos que o futuro não está definido, que possibilidades alternativas estão disponíveis. Em uma mesma situação, considerando as mesmas circunstâncias do passado, acreditamos que podemos escolher uma ou outra opção. Não sentimos que nossas escolhas sejam determinadas pelas mesmas leis que regulam o funcionamento do mundo natural, pelo contrário, sentimos que somos fontes de nossas próprias decisões.

Essa contradição entre percepções do senso comum expressa bem a dificuldade de conciliar a liberdade do ser humano e a sua existência no mundo. Essa questão está no cerne do problema do livre-arbítrio. Temos a sensação de que nossas ações são livres, em contrapartida, entendemos que o funcionamento do mundo exterior é governado por regras causais invioláveis. A ocorrência da causa implica na ocorrência do efeito, ou em uma maior probabilidade de que o efeito aconteça. Assim, os eventos futuros estariam limitados a um

conjunto de possibilidades. Esse conjunto seria determinado pelos eventos do passado e pelas regras de funcionamento do mundo. Sob essa perspectiva, o mundo exterior seria incompatível com a ideia de liberdade. O sujeito que se percebe como livre é simultaneamente um agente no mundo. Suas escolhas são feitas em um contexto definido por eventos passados, e suas ações influenciam eventos futuros. O aparente conflito entre a experiência subjetiva da liberdade e percepção da necessidade dos eventos do mundo constitui o problema do livre-arbítrio.

Um aspecto essencial para a concepção do problema do livre-arbítrio é a experiência subjetiva de que somos livres para tomar decisões. Quando avaliamos as ações humanas sob uma perspectiva objetiva, assumimos que existe um grau de previsibilidade associado a elas. Na convivência com o outro observamos suas escolhas e suas ações, e através dessas observações identificamos um padrão de comportamento. Observamos quais são os motivos e as inclinações que o levam a tomar certas decisões. Ao identificarmos um padrão, podemos antecipar as escolhas do outro com certa precisão. Essa capacidade é fundamental para a constituição das relações humanas. Nas relações pessoais supomos que existe uniformidade nas ações do outro, entendemos que certos motivos resultam em determinadas ações. Se assumimos assim que há um certo grau de necessidade associado às escolhas do outro, podemos afirmar que suas decisões sejam livres?

Em sua análise sobre a causalidade e a liberdade, Hume defende que a mesma crença pressuposta na relação causal dos eventos pode também ser considerada para se pensar as ações humanas. A ligação entre motivo e ação, em um processo de decisão, seria tão imprescindível quanto a conexão entre causa e efeito nas operações da natureza. Assim, nas escolhas humanas identificamos conjunções constantes e através delas antecipamos quais serão as ações de um indivíduo em um determinado contexto.

Seria possível conciliar a ideia de liberdade com essa tese de Hume? Os filósofos conhecidos como compatibilistas afirmam que sim. O compatibilismo é caracterizado pela defesa de que as regras causais não são empecilhos para o exercício do livre-arbítrio. Segundo os compatibilistas, a liberdade está associada à capacidade do agente de agir de acordo com seus desejos, inclinações ou escolhas. Nesse caso, a ausência de liberdade seria provocada por

restrições, coerções ou impedimentos que impossibilitem uma ação do agente. Nas palavras de Hume:

Por liberdade, então, só nos é possível entender um poder de agir ou não agir, de acordo com as determinações da vontade; isto é, se escolhermos ficar parados, podemos ficar assim, e se escolhermos nos mover, também podemos fazê-lo. Ora, essa liberdade hipotética é universalmente admitida como pertencente a todo aquele que não esteja preso e acorrentado. (2004, p.137)

Além de Hume, outros compatibilistas clássicos como Hobbes e Mill também defendem essa posição. Segundo Mckenna (2016, p. 51), a concepção de liberdade dos compatibilistas clássicos é frequentemente caracterizada como negativa. Segundo essa caracterização, a liberdade possui um caráter positivo quando corresponde a capacidade de controlar os desejos e inclinações.

Ao considerar que a ausência de liberdade se deve apenas às restrições externas, a definição negativa de liberdade permite a conciliação entre a causalidade do mundo e o livre-arbítrio. Poderíamos supor que os desejos e as inclinações de um agente seriam causados por eventos anteriores. Assim, ao agir segundo um desejo o agente estaria influenciado por causas que são anteriores a formação do desejo. A cadeia causal que gera a ação não começaria no desejo e teria elementos anteriores que são as causas dos desejos. As causas dos desejos também seriam causadas por outros eventos anteriores. Assim, a cadeia causal poderia se estender para um passado anterior ao nascimento do agente. Dessa forma, poderíamos concluir que as ações do agente estariam determinadas por eventos anteriores e que ele não seria o autor de suas ações. Os compatibilistas negam essa conclusão ao assumir o conceito negativo de liberdade. Se a violação da liberdade está associada apenas a coerções e impedimentos, os eventos passados, que são causas dos desejos do agente, não representam ameaça ao seu livre-arbítrio. Para os compatibilistas, a ação causada pela vontade do agente é uma ação livre.

De certa forma, podemos dizer que existe uma proximidade entre a abordagem de Hume sobre o livre-arbítrio e as investigações contemporâneas da neurociência. Ambas assumem que tanto as decisões humanas quanto os fenômenos naturais estão submetidos a um

mesmo ordenamento causal. O pressuposto de que todos os eventos são produzidos por causas é amplamente adotado no campo das ciências. Os ramos científicos que estudam decisões humanas as consideram como eventos que estão submetidos à causalidade. As decisões e ações humanas são tomadas como objetos de investigação empírica e não como fonte de reflexões meramente filosóficas.

Descobertas recentes em neurociência mostram que algumas decisões que são subjetivamente tomadas como livres são determinadas por atividade cerebral antes de se tornarem conscientes. Em 1985, B. Libet apresentou um experimento em que a atividade cerebral de voluntários era monitorada enquanto eles realizavam uma ação específica. Tal ação consistia em apertar um botão assim que sentissem vontade de fazê-lo. Os resultados desse experimento mostraram que a decisão consciente de pressionar o botão foi precedida em centenas de milissegundos por atividade cerebral em uma região envolvida na preparação motora. Disso se concluiu que o cérebro de cada um dos voluntários já havia inconscientemente tomado a decisão de realizar a ação antes que o sujeito tomasse consciência disso. Tais resultados reforçaram a hipótese de que nenhuma ação é de fato livre e de que a percepção subjetiva de liberdade seria uma ilusão.

Em um artigo publicado pela revista *Nature* em 2009, o neurobiólogo alemão Martin Heisenberg (2009, p.164) expressa a dificuldade de se conciliar a ideia de liberdade com uma abordagem científica sobre o processo de decisão. Em suas palavras:

Alguns cientistas e filósofos argumentam que descobertas recentes em neurociência - como dados publicados no ano passado sugerindo que nosso cérebro toma decisões até sete segundos antes de tomarmos consciência delas - combinadas com o princípio filosófico de que qualquer ação deve ser dependente de causas precedentes, implicam que nosso comportamento nunca é autogerado e que a liberdade é uma ilusão.¹

Ele discorda desta visão de que o livre-arbítrio seria uma ilusão e defende que ainda é possível preservar uma noção de livre-arbítrio, mesmo considerando os experimentos recentes

1 “Some scientists and philosophers argue that recent findings in neuroscience — such as data published last year suggesting that our brain makes decisions up to seven seconds before we become aware of them — along with the philosophical principle that any action must be dependent on preceding causes, imply that our behaviour is never self-generated and that freedom is an illusion.” (M. Heisenberg, 2009, p.164)

em neurociência que apontam na direção contrária. M. Heisenberg apresenta uma abordagem mitigada da ideia de livre-arbítrio, na qual as decisões do agente não são necessariamente conscientes. Segundo o neurobiólogo, as ações livres são ações autogeradas, mesmo que as causas das ações sejam inconscientes. Nesse sentido, ele apresenta as evidências reportadas em um artigo de 1983 de que o comportamento dos organismos vivos é autogerado e, segundo sua definição, livre.

O procedimento experimental de Libet foi aprimorado por Soon et. al. (2008). Soon e seus colaboradores mediram a atividade cerebral de voluntários através da técnica de imagem obtida por ressonância magnética funcional. Dessa forma, os autores puderam identificar “quanta informação preditiva cada região do cérebro continha sobre o resultado específico de uma decisão motora em vários instantes de tempo antes e depois de atingir a consciência” (Soon et. al., 2008, p.544)². Através da análise dos padrões criados pela atividade cerebral, os autores usaram ferramentas estatísticas para prever o resultado específico de decisão motora dos voluntários. Soon et. al. (2008, p.544) afirmam que a “informação preditiva nos sinais de fMRI (imagem por ressonância magnética funcional) desta região do cérebro já estava presente 7 s antes da decisão motora do sujeito. Levando em consideração a lentidão das respostas BOLD (Blood Oxygenation Level Dependent), a informação neural preditiva terá precedido a decisão motora consciente em até 10 s”³.

Os trabalhos de Libet (1985) e Soon et. al. (2008) corroboram com a visão de que o livre-arbítrio se limitaria a uma experiência subjetiva. Sob a perspectiva objetiva da neurociência, as relações causais seriam suficientes para explicar todos os eventos, não havendo espaço para a liberdade do agente. Outros campos da ciência compartilham dessa mesma visão. Podemos citar como exemplo a economia comportamental. Essa área da economia estuda o comportamento dos agentes econômicos, avaliando como os fatores psicológicos, emocionais e cognitivos influenciam em suas decisões. Os trabalhos de Amos Tversky e Daniel Kahneman, precursores nessa área, mostram que nossas decisões e

2 “how much predictive information each brain region contained about the specific outcome of a motor decision at various time points before and after it reached awareness.”(Soon et. al., 2008, p.544).

3 “predictive information in the fMRI signals from this brain region was already present 7s before the subject’s motor decision. Taking into account the sluggishness of BOLD responses, the predictive neural information will have preceded the conscious motor decision by up to 10s.”(Soon et. al., 2008, p.544)

julgamentos são significativamente influenciadas por fatores inconscientes (Kahneman, 2012). Eles defendem que a influência dos vieses pode ser detectada em situações importantes, como decisões de mercado e julgamentos em tribunais. A economia comportamental estabelece limites para a crença de que os seres humanos são agentes puramente racionais. A relevância dos trabalhos de Tversky e Kahneman foi reconhecida com o Prêmio Nobel de Economia recebido por D. Kahneman em 2002.

As teorias clássicas da economia defendem a premissa de que as decisões humanas têm a finalidade de maximizar a utilidade (Kahneman, 2012). A utilidade é um parâmetro que mede o grau de satisfação do agente. Assim, segundo essa perspectiva tradicional da economia, as decisões seriam racionais e teriam como objetivo aumentar a satisfação do agente. Entretanto, diversos estudos empíricos⁴ realizados principalmente por Tversky e Kahneman refutam parcialmente a hipótese da escolha racional adotada nas teorias tradicionais da economia. Os resultados de Tversky e Kahneman foram incorporados na economia e mudaram a percepção de que as decisões dos agentes seriam puramente racionais. A hipótese de que as ações têm sempre a finalidade de maximizar a utilidade foi revisada nos diversos campos da economia. Em seu livro *“Why is there no Milton Friedman today?”*, Richard Posner afirma:

[a economia comportamental] minou o modelo econômico do homem como um maximizador racional de seu próprio interesse e ajudou a expor a exploração desenfreada da psicologia do consumidor pelas empresas. As empresas sabem, e os economistas estão aprendendo, que os consumidores são facilmente manipulados pelos vendedores a fazerem más escolhas – escolhas que nunca fariam se fossem mais conscientes. (Posner, 2013, p.212)⁵

Fatores inconscientes como heurísticas e vieses interferem significativamente nas decisões. Portanto, muitas vezes tomamos decisões que não atendem a nossos próprios interesses nem maximizam nossa satisfação e bem-estar.

4 Esses estudos experimentais na área da psicologia foram realizados principalmente nas décadas de 1970 e 80. Alguns exemplos são Tversky e Kahneman (1972, 1973, 1974, 1983, 1985 e 1989),

5 “has undermined the economic model of man as a rational maximizer of his selfinterest and helped to expose the rampant exploitation by business of consumer psychology. Businesses know, and economists are learning, that consumers are easily manipulated by sellers into making bad choices —choices they would never make if they knew better” (Posner, 2013, p.212)

Um dos casos mais representativos do conflito entre a expectativa de decisões racionais e os resultados empíricos é a violação do Princípio da Coisa Certa (*Sure-thing principle*), formulado por L. Savage (1954). O princípio estabelece que se alguém decide agir de uma certa forma no caso de ocorrência do evento E , bem como no caso da ausência de E , então, essa pessoa também deve tomar a mesma decisão se não souber nada sobre E . Savage esclarece essa definição com o seguinte exemplo:

Um empresário pensa em comprar uma certa propriedade. Ele considera relevante o resultado da próxima eleição presidencial. Então, para esclarecer o assunto para si mesmo, ele pergunta se compraria se soubesse que o candidato democrata venceria e decide que sim. Da mesma forma, ele considera se compraria se soubesse que o candidato republicano venceria e novamente descobre que sim. Vendo que compraria em qualquer evento, ele decide que deve comprar, mesmo que não saiba qual evento é obtido, ou será obtido, como diríamos ordinariamente.⁶ (Savage, 1954, p.21)

A violação do princípio da Coisa Certa (*Sure-thing principle*) foi observada experimentalmente por Tversky e Kahneman (1983), Tversky e Shafir (1992) e Shafir e Tversky (1992).

O princípio da Coisa Certa (*Sure-thing principle*) é um dos axiomas da abordagem bayesiana sobre a agência racional desenvolvida por Savage (1954). Nessa abordagem Savage assume que as crenças de um agente, cujas preferências satisfazem um certo número de axiomas de “racionalidade” (entre eles o princípio da Coisa Certa), são representadas matematicamente por probabilidades. Segundo M. Peterson (2017, p.201)

Em essência, a teoria sustenta que uma pessoa é livre para acreditar no que quiser, desde que suas crenças possam ser representadas por uma função de probabilidade subjetiva, e essas crenças são atualizadas de acordo com o teorema de Bayes⁷. (2017, p.201)

6 “A businessman contemplates buying a certain piece of property. He considers the outcome of the next presidential election relevant. So, to clarify the matter to himself, he asks whether he would buy if he knew that the Democratic candidate were going to win, and decides that he would. Similarly, he considers whether he would buy if he knew that the Republican candidate were going to win, and again finds that he would. Seeing that he would buy in either event, he decides that he should buy, even though he does not know which event obtains, or will obtain, as we would ordinarily say.” (Savage, 1954, p.21)

7 “In essence, the theory holds that one is free to believe whatever one wishes as long as one's beliefs can be represented by a subjective probability function, and those beliefs are updated in accordance with Bayes' theorem.” (Peterson, 2017)

Assim, Savage considera que um agente racional é capaz de associar distribuições de probabilidade aos estados da natureza e, decide agir como se estivesse maximizando a utilidade. Esse tipo de abordagem do processo decisório baseado no formalismo bayesiano prescreve regras lógicas que o agente racional deve seguir para tomar decisões e corrobora o princípio da Coisa Certa (*Sure-thing principle*) de Savage. Portanto, os experimentos que demonstram a violação do princípio de Savage colocam em cheque a aplicação da teoria bayesiana da agência racional desenvolvida por Savage.

Uma abordagem matemática alternativa à teoria bayesiana foi proposta recentemente por pesquisadores do campo da psicologia matemática. J. Busemeyer e P. Bruza (2011) entre outros⁸ propõem o uso do formalismo matemático da mecânica quântica para modelar os fatores não racionais que influenciam as decisões. É importante destacar que, nesse caso, o uso do formalismo matemático na teoria quântica é meramente instrumental e não está associado às hipóteses sobre descrições quânticas do cérebro. O uso instrumental da teoria da probabilidade quântica nas ciências cognitivas permite a explicação das violações do princípio da Coisa Certa em experimentos que investigam a tomada de decisão (Busemeyer e Bruza, 2011).

Segundo Pothos e Busemeyer (2009, p.2177), “a probabilidade quântica fornece uma estrutura promissora para modelar a tomada de decisão humana”⁹. As teorias de probabilidade clássica representam o processo de decisão considerando que o indivíduo estaria comprometido com alguma alternativa durante todo o processo, embora a alternativa preferida possa mudar ao longo do tempo. Por outro lado, a teoria de probabilidade quântica oferece ferramentas matemáticas para que as preferências do indivíduo durante o processo de decisão possam ser representadas por uma superposição de todas as possibilidades, caracterizando assim um estado efetivamente indefinido de escolha. Assim, o indivíduo permaneceria descomprometido com qualquer alternativa específica durante o processo de decisão. A escolha de uma alternativa no final do processo se manifestaria, na teoria de probabilidade

8 Algumas das principais referências bibliográficas dessa área são os livros de Busemeyer e Bruza (2011), Haven e Khrennikov (2013), além dos artigos Busemeyer et al. (2019), Tsarev et al. (2019), Lee et al. (2019), Pothos et al. (2013) e Wang et al. (2013).

9 “Quantum probability provides a promising framework for modelling human decision-making” (Pothos e Busemeyer, 2009, p.2177)

quântica, através do postulado da projeção de estados. As ferramentas matemáticas disponíveis na teoria de probabilidade quântica oferecem as condições para explicar os resultados experimentais que mostram as violações do Princípio da Coisa Certa (*Sure-thing principle*).

Como exemplo da aplicação do formalismo da probabilidade quântica em processos de decisão, consideremos o artigo de Yearsley e Pothos (2016). Os autores usam a teoria de probabilidade quântica para explicar um estudo experimental de mudança de opinião realizado com diferentes grupos de voluntários. Yearsley e Pothos relacionam os resultados experimentais obtidos nesse estudo com um efeito previsto pela teoria quântica, conhecido como efeito Zenão quântico. O efeito Zenão quântico corresponde à inibição de uma transição de estados na mecânica quântica. De forma geral, a transição de estados é um processo que ocorre naturalmente em uma evolução temporal de um estado quântico. Entretanto, se uma série de medições do sistema quântico for realizada durante esse processo, a evolução temporal pode ser interrompida. Nesse caso, a transição de estados seria inibida pela sequência de medições. O efeito Zenão quântico é uma consequência do formalismo matemático da teoria quântica. Portanto, se tal formalismo for aplicado aos processos de decisão, é natural supor que um efeito correspondente ao efeito Zenão quântico se manifeste na nesta abordagem.

No estudo de mudança de opinião por eles conduzido, os participantes leram uma história sobre um suspeito de um hipotético assassinato. O modelo quântico para este cenário é construído em um espaço de Hilbert bidimensional no qual dois vetores ortonormais correspondem às crenças de que o suspeito é inocente ou culpado. Os participantes receberam evidências, sugerindo que o suspeito era culpado. Em termos do modelo quântico, as evidências fornecem uma evolução unitária do vetor de estado que representa a opinião dos voluntários. Esta evolução pode ser caracterizada como um processo de transição quântica do "estado inocente" inicial para o "estado de culpa" final. Um grupo de participantes recebeu todas as provas, e foi solicitado a fazer um julgamento final sobre a culpa do suspeito. Outros grupos de participantes receberam as mesmas provas, e, além do julgamento final, foi solicitado que fizessem julgamentos intermediários e que expressassem e justificassem sua opinião em cada um deles. Os resultados experimentais de Yearsley e Pothos (2016) mostram

que a mudança de opinião é retardada por julgamentos intermediários. No modelo matemático considerado pelos autores, os julgamentos intermediários são representados pela projeção de estados quânticos. O efeito Zenão quântico é provocado pela sequência de medidas intermediárias.

O uso do formalismo matemático da mecânica quântica no estudo de processos de decisão se deve às limitações dos modelos clássicos. Segundo os autores que defendem a abordagem quântica, a teoria de probabilidade clássica seria insuficiente para considerar a incorporação de fatores inconscientes na análise de um processo de decisão.

A identificação desses fatores inconscientes no processo de decisão corrobora a visão de que o livre-arbítrio seria uma ilusão. O agente estaria submetido a influências desconhecidas, sob as quais ele não tem controle. Suas decisões seriam causadas por fatores incontroláveis e ele não seria a fonte de suas próprias ações. Os fatores inconscientes teriam uma influência causal nas decisões e ações do agente. Esses fatores são construídos ao longo da vida do agente, portanto, eles estariam inseridos em uma série causal que se estende até um passado muito remoto, anterior ao nascimento do agente. Sob essa perspectiva causal, o arbítrio humano não seria livre, as decisões seriam causadas pelo ordenamento natural do mundo e não por um agente que inicia uma série causal.

As abordagens científicas do arbítrio humano estão vinculadas à noção de causalidade natural. Considerando que há uma aparente incompatibilidade entre a causalidade e o livre-arbítrio, seria natural imaginar uma oposição entre a ideia de livre-arbítrio e as teorias científicas. A causalidade dos eventos seria suficiente para determinar o resultado dos processos naturais. O ser humano, visto como um objeto da natureza, seria parte desse mecanismo natural. Dessa forma, suas decisões seriam derivadas pelas relações causais naturais, não havendo espaço para a ideia de livre-arbítrio. De fato, diversas áreas das ciências adotam essa posição. Curiosamente, na física contemporânea há uma exceção.

Em um artigo de 1976, ao apresentar um dos teoremas mais relevantes da física quântica, o matemático J. Bell assume a tese do livre-arbítrio ou liberdade de escolha como hipótese necessária para a demonstração do seu teorema. Em suas palavras: “assumiu-se aqui

que as configurações dos instrumentos são, em certo sentido, variáveis livres, digamos ao capricho dos físicos experimentais” (p. 61)¹⁰. Bell, nesse artigo enuncia a hipótese da independência das medições, também conhecida como hipótese da liberdade de escolha. Em linhas gerais, o teorema de Bell permite a realização de testes experimentais para verificar se a correlação entre objetos quânticos pode ser explicada por relações causais (Bell [1964]). Um teste de Bell tradicional envolve um par de partículas emaranhadas¹¹ que são separadas e analisadas individualmente em dois laboratórios. A hipótese causal testada em um experimento de Bell pretende explicar que a correlação entre as duas partículas é provocada por uma causa comum. Para que o teorema de Bell seja válido, é necessário assumir que essa causa comum não seja também a causa das configurações dos instrumentos usados no experimento. Em outras palavras, as configurações dos instrumentos devem ser independentes da causa comum. Essa hipótese é conhecida como hipótese da independência das medições. Ela é um elemento essencial na dedução do teorema de Bell. Ao afirmar que as configurações dos instrumentos são determinadas “ao capricho dos físicos experimentais”, Bell torna explícita a ideia de que a hipótese da independência das medições em última instância pode ser assegurada pelo livre-arbítrio humano.

O teorema de Bell permite a dedução de uma desigualdade matemática que envolve grandezas mensuráveis. A desigualdade de Bell é deduzida através da teoria da probabilidade clássica e estabelece um limite para a correlação entre as partículas. Por envolver grandezas mensuráveis, a desigualdade pode ser testada experimentalmente. Como consequência do procedimento dedutivo, o limite estabelecido pela desigualdade de Bell depende das hipóteses assumidas no teorema. Assim, uma verificação experimental de uma violação da desigualdade de Bell implica em uma inconsistência entre as hipóteses do teorema e o resultado empírico. Além da hipótese de independência das medições, Bell (1976) assume também a hipótese da causalidade local. Essa hipótese implica que tanto os resultados das medições quanto as configurações dos instrumentos em um laboratório não podem exercer influência causal sobre resultados das medições e as configurações no outro laboratório.

10 “It has been assumed (in deriving Bell’s theorem) that the settings of instruments are in some sense free variables - say at the whim of experimenters - or in any case not determined in the overlap of the backward light cones.” (Bell, 1976, p.60)

11 O emaranhamento é uma correlação observada exclusivamente em sistemas quânticos.

Realizar um teste de Bell não é uma tarefa simples. Para alcançar um resultado experimental que permita conclusões tão amplas, é necessário que os experimentos cumpram rigorosamente duas condições técnicas: (i) rapidez e eficiência na detecção de medidas e (ii) a permanência de estados emaranhados que mantêm sua coerência mesmo quando separados por grandes distâncias. Além dessas condições técnicas, é necessário também pressupor que as escolhas das grandezas físicas a serem medidas devem ser independentes da influência de qualquer causa comum. As primeiras realizações experimentais (Aspect et al., 1982a e 1982b; Ou & Mandel, 1988) mostraram concordância com a teoria quântica, mas não foram capazes de garantir todas essas pré-condições necessárias para os testes. Nesses experimentos, não é possível verificar se as hipóteses do teorema de Bell são compatíveis com os sistemas quânticos. As circunstâncias de condições experimentais incompletas são conhecidas na literatura como “*loopholes*”, que é um termo oriundo da terminologia jurídica para se referir às lacunas ou brechas na aplicação de determinada norma.

Por um lado, para garantir as condições (i) e (ii), é necessário lidar com questões técnicas na montagem experimental. Por outro lado, não há consenso entre os físicos sobre as condições necessárias para assegurar a condição da independência das medições. Nesse caso, os problemas envolvidos vão além das questões técnicas. A rigor, para assegurar a condição de independência das medições, ou seja, para garantir a independência entre as configurações dos instrumentos nos dois laboratórios que realizam um teste de Bell, seria necessário vasculhar todo o passado causal dos eventos responsáveis por gerar as decisões de quais grandezas serão medidas. As configurações dos instrumentos no teste de Bell são tradicionalmente determinadas através de processos físicos. Usualmente, as configurações são definidas por geradores de números aleatórios, como nos experimentos realizados por Fürst et al. (2010) e Scheidla et al. (2010). Entretanto, uma análise mais rigorosa desse processo permite afirmar que os geradores de números aleatórios ou randomizadores, sendo dispositivos físicos, possuem inevitavelmente um passado causal. Assim, para assegurar rigorosamente a hipótese da independência das medições, seria necessário garantir que não exista intercessão entre o passado causal dos geradores de números aleatórios envolvidos no experimento. Caso contrário, na intercessão poderia existir um evento que é simultaneamente causa dos resultados gerados pelos randomizadores. Porém, o passado causal de qualquer evento físico se estende no limite até o surgimento do universo. Assim, seria impossível

garantir que não haveria uma intercessão entre os passados causais dos resultados produzidos pelos geradores de números aleatórios. O fato desses eventos possuírem um passado causal em comum, nos permite assumir que um evento pode ser uma causa comum para a geração dos números aleatórios. Ignorar essa possibilidade seria assumir, segundo Brans (1988, p.219), que “o teorema de Bell se aplica apenas a um universo híbrido no qual variáveis ocultas determinam apenas parte dos resultados das experiências”¹².

Uma alternativa para superar a dificuldade de assegurar a condição da independência das medições através de processos físicos, seria a suposição de que as configurações dos instrumentos são escolhidas por agentes livres. Quando essa hipótese foi levantada por Bell houve discordância entre os físicos. O próprio Bell reconsidera sua posição em 1977 face a inúmeras críticas. Em resposta àquelas apresentadas por Shimony, Horne, & Clauser (1976) sobre o caráter metafísico da hipótese da liberdade de escolha, Bell publica o artigo “Free variables and local causality” (Bell, 1977). Nesse artigo ele apresenta uma versão mais fraca da hipótese controversa, afirmando que as configurações dos instrumentos devem ser “pelo menos efetivamente livres para o objetivo em questão”¹³. Assim, no artigo de 1977, Bell defende que geradores de números aleatórios seriam suficientes para selecionar, de forma efetivamente livre, as configurações dos instrumentos nos laboratórios.

As duas posições distintas sobre a adoção da tese do livre-arbítrio para a demonstração do teorema, adotadas por Bell nos artigos de 1976 e 1977, representam bem a controvérsia gerada entre os físicos. Usualmente, nos experimentos que mostram a violação da desigualdade de Bell as configurações das medições são determinadas por geradores de números aleatórios. Podemos citar como exemplo os experimentos de Hensen et al (2015); Rosenfeld et al (2017); Abellán et al (2015); Fürst et al (2010); Scheidla et al (2010). Todos consideram que os dispositivos físicos que geram números aleatórios são suficientes para assegurar a hipótese da independência das medições.

12 “Bell’s theorem applies only to a hybrid universe in which hidden variables determine only part of the outcomes of experiments.” (Brans, 1988, p.219)

13 “at least effectively free for the purposes at hand” (Bell, 1977, p.103)

Entretanto, parte significativa da comunidade científica especializada em fundamentos da teoria quântica concorda com a crítica de Brans ao uso de sistemas físicos para definir as configurações dos instrumentos no teste de Bell. Para esse grupo de físicos, o cumprimento da condição de independência das medições deve ser avaliado com maior rigor. Diante disso, diversas estratégias experimentais foram propostas com a finalidade de assegurar a independência das medições. Rauch et. al. (2018) e Handsteiner et. al. (2017) realizaram experimentos de Bell em que as escolhas das configurações das medições foram feitas por meio de graus de liberdade de fótons emitidos por estrelas distantes. Desta forma, o experimento “empurra a origem das configurações de medição consideravelmente mais fundo na história cósmica” (Rauch et al, 2018). Esses experimentos restringem significativamente o volume do espaço-tempo disponível para a existência de um evento que seja causa comum das escolhas das medições. Entretanto, apesar de restringir significativamente a possibilidade de uma causa comum violar a condição de independência das medições, os experimentos de Rauch et. al. (2018) e Handsteiner et. al. (2017) não podem assegurar que a tal violação seja impossível. Como as configurações de medição continuam a ser definidas por objetos físicos, no caso os fótons emitidos por estrelas distantes, haveria assim possibilidade para a existência de uma causa comum entre eles.

Não seria, portanto, possível atender a condição de independência das medições se as configurações dos instrumentos forem definidas por objetos físicos. Nesse sentido, não restaria aos físicos outra alternativa senão adotar a solução metafísica apresentada por Bell em seu artigo de 1976. As escolhas humanas, se pensadas como causas não causadas, seriam suficientes para assegurar a independência das medições. Em 2018, Abellan et. al. realizaram um teste de Bell, em que pela primeira vez as escolhas humanas (de 100.000 voluntários) foram usadas para assegurar a hipótese de independência das medições. A magnitude dessa colaboração (mais de cem autores assinaram artigo que reporta o experimento) mostra que uma parte significativa da comunidade científica especializada na área está comprometida com a hipótese do livre-arbítrio.

Curiosamente, ao adotar essa abordagem parte dos físicos se afastam da posição majoritária dos neurocientistas mencionada acima acerca do livre-arbítrio. Enquanto os neurocientistas contemporâneos negam ou restringem a possibilidade da liberdade humana,

parte dos físicos que trabalham com testes experimentais de desigualdade de Bell parecem concordar tacitamente com filósofos da tradição ocidental que desde Agostinho, no século IV, defendem a doutrina do livre-arbítrio. A liberdade humana é um tema caro a filosofia com implicações no campo da moral, da política e da religião.

O debate acerca do livre-arbítrio esteve muito presente na filosofia medieval, quando a aparente incompatibilidade entre a liberdade humana e a onisciência de Deus era uma questão central. No século XVIII, com o advento da física newtoniana, esse debate adquire novos contornos, uma vez que o determinismo das leis da física parece se opor à tese do livre-arbítrio. Nesse contexto, a liberdade humana não seria possível se cada evento fosse determinado pelo estado de coisas anterior de acordo com as leis estritas da natureza. Os filósofos que sustentam que o determinismo natural e a liberdade são mutuamente inconsistentes são classificados como incompatibilistas, enquanto aqueles que afirmam a consistência do determinismo natural e da liberdade são conhecidos como compatibilistas.

No entanto, a simples negação do determinismo não é suficiente para manter uma posição coerente em favor do pressuposto do livre-arbítrio. Se todos os eventos resultassem de processos aleatórios, as escolhas humanas também teriam de resultar de um processo aleatório e, portanto, não teriam o agente com a fonte causal. Assim, em um mundo universalmente indeterminista, as decisões e escolhas não seriam causadas pelo livre-arbítrio humano, pois seriam eventos aleatórios. Portanto, o indeterminismo também é uma ameaça ao livre-arbítrio humano.

A princípio, todas as posições filosóficas que defendem a existência do livre-arbítrio estariam aptas a justificar a hipótese metafísica de Bell. Entretanto, em uma análise mais cuidadosa, é possível identificar os atributos específicos para que o agente possa definir as configurações dos instrumentos de medida. Os testes de Bell pretendem verificar se uma teoria causal local é compatível com os resultados da mecânica quântica. Os experimentos envolvem a medição de correlações entre dois sistemas quânticos. Segundo as teorias causais locais, a correlação entre os sistemas seria explicada por uma causa comum que não foi incluída no formalismo quântico. A causa comum recebe o nome de variável oculta. Como o próprio nome sugere, suas características são desconhecidas. Não há hipóteses sobre sua

origem, tampouco sobre os mecanismos que promoveriam a interação entre a variável oculta e as partículas medidas nos laboratórios durante o teste de Bell. A adoção de um conceito amplo para representar a variável oculta concede generalidade ao teorema de Bell, entretanto, também torna mais complexa a abordagem da hipótese da independência das medições.

Nesta tese defendemos que nem todas as teorias do livre-arbítrio estariam aptas a justificar a hipótese metafísica de Bell. Para assegurar a independência entre as decisões do agente e a variável oculta, o livre-arbítrio deve ser considerado sob a perspectiva de uma teoria da agência que: (i) estabeleça a delimitação de um domínio que estaria sob a influência da variável oculta, e (ii) permita a construção de um espaço conceitual para a liberdade dos agentes que atuam no experimento de Bell. Portanto, a hipótese do livre-arbítrio adotada pelos físicos requer uma análise cuidadosa. Certas teorias da agência, ainda que considerem a hipótese do livre-arbítrio, não possuem os elementos necessários para assegurar a independência entre o agente e as variáveis ocultas.

Esta tese visa mostrar que o compromisso filosófico tácito adotado pelos físicos, para assegurar a hipótese da independência das medições, é melhor compreendido em termos kantianos. Para tanto, levaremos em consideração uma certa interpretação da teoria da agência humana de Kant defendida entre outros por Henry Allison (1990). Não é objetivo deste trabalho entrar em detalhes a respeito das discussões entre estudiosos kantianos sobre o problema do livre-arbítrio. Nosso objetivo é mostrar que a condição da independência das medições é consistente com a interpretação kantiana que atribui ao agente o poder de iniciar uma série causal espontaneamente, livre das influências de quaisquer eventos anteriores. Na filosofia de Kant, a causalidade natural nos permite entender a natureza como sujeita a leis que se aplicam universalmente à natureza e dão a ela um caráter previsível. Nesse sentido, todo evento é precedido por uma causa, o que gera uma cadeia causal. No entanto, esse não é o único tipo de causalidade que opera no mundo empírico. Precisamos pressupor uma causalidade por meio da liberdade, de acordo com a qual o poder de escolha do agente humano tem eficácia causal empírica e pode iniciar uma série como uma causa espontânea não causada por qualquer evento anterior.

A teoria da agência de Kant esta inserida em um programa filosófico amplo e ambicioso, o idealismo transcendental. Em termos gerais, o idealismo transcendental está baseado na tese de que o espaço e o tempo não existem de forma independente. Eles são as formas puras da intuição sensível, sendo esta vinculada a nossa capacidade de perceber os objetos empíricos. Nesse sentido, a teoria da agência de Kant está associada a essa doutrina da idealidade transcendental do espaço e do tempo que permite caracterizar nossas representações cognitivas sobre os objetos do mundo. Por estar inserida nessa abordagem filosófica mais ampla, a tese da agência de Kant oferece as ferramentas adequadas para sustentar a tese de que as escolhas humanas asseguram a independência das medições. A nossa hipótese de trabalho é a de que a teoria da agência de Kant permite a delimitação do domínio que estaria sob a influência da variável oculta e a construção de um espaço conceitual para defender o livre-arbítrio dos agentes envolvidos no teste de Bell.

A tese contém três capítulos. No primeiro capítulo apresentaremos os problemas que motivaram a elaboração das teorias de variáveis ocultas. Inicialmente consideramos o princípio da incerteza de Heisenberg, responsável por estabelecer o caráter indeterminista da mecânica quântica. Em seguida abordamos as teorias de variáveis ocultas, que pretendem estabelecer certos aspectos da física clássica através de alterações no formalismo da teoria quântica. Apresentamos também no primeiro capítulo o teorema de Bell, que permite a investigação experimental a respeito das teorias de variáveis ocultas. Consideramos uma abordagem do teorema de Bell que torna explícita as relações causais associadas às hipóteses do teorema. Essa abordagem nos permite identificar com clareza a hipótese da independência das medições e sua relação com ideia de livre-arbítrio. No segundo capítulo faremos uma abordagem geral sobre o problema do livre-arbítrio. Nele buscaremos analisar também o conceito de liberdade associado às teorias contemporâneas do livre-arbítrio e a adequação dessas teorias para assegurar a condição da independência das medições. No terceiro capítulo analisaremos a perspectiva kantiana sobre o problema do livre-arbítrio, com ênfase na terceira antinomia da razão pura que trata da ilusão transcendental vinculada à relação conflituosa entre a liberdade e a esfera fenomênica. A partir da solução da terceira antinomia, apresentaremos a teoria da agência de Kant sob a perspectiva da tese da incorporação, defendida entre outros por Henry Allison (1990). Nesse capítulo, ainda defenderemos que a teoria da agência de Kant é a mais adequada para assegurar a condição de independência das

medições, uma vez que ela possui as duas características necessárias para cumprir essa tarefa. A primeira é a restrição com campo de influência da variável oculta à esfera fenomênica. A segunda é a introdução do caráter inteligível do arbítrio, que retira o processo deliberativo do agente da esfera fenomênica. Dessa forma, podemos assumir que uma escolha do agente inicia uma série causal, portanto, é independente da variável oculta.

1 INDETERMINISMO QUÂNTICO E DESIGUALDADE DE BELL

Nesse capítulo apresentamos os elementos da teoria quântica que contribuíram para a formulação da desigualdade de Bell. Abordamos inicialmente o princípio da incerteza de Heisenberg, a partir do qual se estabelece o caráter indeterminista da mecânica quântica. Em seguida apresentamos o experimento de pensamento, conhecido como EPR, em que os autores Einstein, Podolsky e Rosen, sugerem que a mecânica quântica seria uma teoria incompleta. Analisamos as teorias de variáveis ocultas que propõem alterações no formalismo da teoria quântica para reestabelecer certas propriedades da física clássica. Ao final do capítulo, apresentamos a desigualdade de Bell. Essa desigualdade matemática deduzida no teorema de Bell permite que as hipóteses das teorias de variáveis ocultas sejam investigadas experimentalmente. Destacamos as hipóteses necessárias para a formulação do teorema de Bell. Nesta tese nos interessa particularmente analisar a hipótese da independência das medições e sua associação à ideia de livre-arbítrio.

Os problemas provocados pela conflitante relação entre nossas concepções ordinárias dos fenômenos naturais e os resultados previstos pela mecânica quântica contrastam com as diversas constatações do sucesso preditivo dessa teoria. Em uma correspondência endereçada ao físico americano R. W. Wood, em 1931, Max Planck, um dos fundadores da teoria quântica, se refere à sua maior contribuição para a ciência, a hipótese da quantização da energia como “um ato de desespero”¹⁴. A hipótese de Planck permitiu a construção de um modelo teórico em concordância com os dados empíricos conhecidos para a radiação de um corpo negro. A célebre frase ilustra, de maneira enfática, as discordâncias entre os conceitos clássicos e quânticos. Nesta seção, nos concentraremos na contraposição entre o determinismo da teoria clássica e a aparente indeterminação intrínseca manifestada pela mecânica quântica. O desenvolvimento da mecânica newtoniana e posteriormente da mecânica analítica, com base no formalismo matemático das equações diferenciais, permitiu a descrição temporal contínua de fenômenos físicos. Laplace, em seu *Ensaio filosófico sobre as probabilidades*, recorre à imagem de uma “inteligência suprema” para sublinhar que no âmbito da mecânica clássica, o conhecimento absoluto das leis naturais descritas por equações diferenciais e da configuração do universo em um instante de tempo (as condições iniciais) permitiriam a

¹⁴ “Briefly summarized, what I did can be described as simply an act of desperation”, carta de M. Planck a R. W. Wood, reportada em A. Hermann (1971, p. 23).

previsão exata de todas as suas configurações em qualquer instante de tempo. Nas palavras de Laplace (1820):

Uma inteligência que, para um instante dado, conhecesse todas as forças das quais está animada a natureza e a situação respectiva dos seres que a compõem, se de outro modo ela fosse suficientemente vasta para submeter esses dados à análise, abraçaria na mesma fórmula os movimentos dos maiores corpos do universo e aqueles do mais leve átomo: nada seria incerto para ela, e o futuro, tal como o passado, estaria presente a seus olhos (p. 2).

Segundo a mecânica clássica, o conhecimento das condições iniciais e das forças que atuam em um sistema são condições necessárias e suficientes para a determinação de seus estados futuros. A “inteligência superior” seria capaz de prever todos os estados futuros dos objetos do mundo fazendo uso dos conceitos da mecânica clássica. Portanto, o “determinismo laplaciano” confere à mecânica clássica o estatuto de conhecimento verdadeiro.

Pode-se também concluir que as incertezas relativas às previsões dos estados futuros revelam um grau de ignorância subjetiva. As previsões imprecisas seriam provocadas pelo desconhecimento das condições iniciais ou das forças envolvidas na evolução do sistema. Portanto, os fenômenos descritos por teorias probabilísticas estariam associados à ignorância subjetiva que nos distanciaria da possibilidade de conhecimento absoluto.

O determinismo foi uma concepção cara à ciência moderna durante sua evolução nos séculos XVIII e XIX. Entretanto, com o desenvolvimento da mecânica quântica a partir do início do século XX, tal concepção foi desestabilizada pela aparente indeterminação presente na “nova mecânica”.

1.1 O PRINCÍPIO DE INCERTEZA DE HEISENBERG

No célebre artigo, publicado em 1927, Werner Heisenberg demonstra matematicamente que, de acordo com a teoria quântica, é impossível determinar simultaneamente certos pares de grandezas, que definem o estado de um sistema físico. Especificamente, Heisenberg mostra que o formalismo matemático da teoria não é compatível com o conhecimento simultâneo desses pares de grandezas físicas e, por essa razão, elas são ditas incompatíveis. Na formulação da teoria quântica baseada na álgebra linear, as grandezas físicas são representadas por operadores. Na álgebra de operadores o produto entre eles pode

não ser comutativo. Nesse caso, se A e B são operadores não comutativos, $AB - BA \neq 0$ ($AB - BA$ é chamado comutador de A e B e é denotado por $[A,B]$). Se esses operadores A e B representarem grandezas físicas, então elas serão incompatíveis. Segundo o princípio de Heisenberg¹⁵, não é possível a determinação simultânea dos valores exatos das grandezas associadas aos operadores não comutativos A e B. No caso específico, os operadores matemáticos que correspondem às grandezas físicas da posição (X) e do momento linear (P_x) de uma partícula não comutam, portanto, tais grandezas são incompatíveis. É possível mostrar (Cf. Cohen-Tannoudji et al, 1992, p.286) que a não comutabilidade entre os operadores da posição e do momento linear implica na desigualdade: $\Delta X \cdot \Delta P_x \geq \hbar/2$.

A partir dessa desigualdade podemos concluir que o produto entre o desvio padrão da posição (ΔX) e do momento linear (ΔP_x) possui um valor mínimo. Esse valor está relacionado ao resultado do comutador ($XP_x - P_xX$) entre o operador posição e o operador momento¹⁶. Na distribuição de probabilidade de uma grandeza, o desvio padrão caracteriza a dispersão de valores em torno da média. Portanto, ele caracteriza a incerteza sobre o conhecimento do valor dessa grandeza. Assim, a desigualdade demonstrada por Heisenberg estabelece que $\hbar/2$ é o valor mínimo do produto entre as incertezas das medidas de posição e momento linear. As distribuições de probabilidades associadas à posição e ao momento são submetidas às restrições impostas pelo princípio de incerteza. Não é possível considerar que as distribuições de probabilidade associadas a posição e ao momento linear sejam arbitrariamente estreitas. Em um caso extremo, se a posição de uma partícula for conhecida com precisão absoluta ($\Delta X=0$) seu momento linear é desconhecido ($\Delta P_x \rightarrow \infty$). Portanto, não é possível conhecer simultaneamente e com precisão arbitrária o valor de grandezas incompatíveis.

A demonstração em termos estatísticos (através do conceito de desvio padrão) foi apresentada por Heisenberg em seu livro de 1930. Entretanto, ela não é a única forma de apresentar do princípio de incerteza de Heisenberg. Segundo Chibeni (2005), Heisenberg elabora três versões conceitualmente distintas de suas relações de incerteza. Apenas a versão apresentada no parágrafo anterior está associada às propriedades estatísticas. As outras duas, que foram apresentadas por Heisenberg em seu artigo de 1927, dizem respeito a um objeto ou

15 O estatuto de princípio atribuído às relações de Heisenberg é controverso, visto que se trata de um resultado de uma dedução matemática. Entretanto, essa é a maneira mais comum de se referir ao resultado de Heisenberg.

16 A demonstração desse resultado é apresentada em diversos livros-texto como em Cohen-Tannoudji (1992).

uma realização experimental individual. Uma delas está baseada na teoria da transformação de Dirac-Jordan, e foi apresentada de forma mais simplificada por Niels Bohr em um artigo de 1928. Nessa demonstração Bohr considera a ideia da dualidade onda-partícula, segundo a qual o objeto quântico pode ser representado por uma função de onda. Uma propriedade matemática de sistemas ondulatórios é a de que quanto mais estreita é a função de onda no espaço, mais larga é a distribuição do número de onda (k) associado a essa função de onda. Matematicamente essa relação pode ser escrita como $\delta X \cdot \delta k_x \geq 1/2\pi$. Considerando a relação de De Broglie entre momento linear P_x de e o número de onda k_x ($P_x = h k_x$), obtemos a expressão do princípio da incerteza $\delta X \cdot \delta P_x \geq \hbar/2$. Nesse caso, δX e δP_x dizem respeito respectivamente à largura da função de onda e de sua representação no espaço do momento linear. A princípio, as larguras δX e δP_x podem estar associadas a objetos quânticos individuais.

A terceira versão do princípio da incerteza foi também apresentada por Heisenberg em seu artigo de 1927. Nesse artigo, Heisenberg argumenta que as limitações impostas pelo princípio de incerteza seriam provocadas por perturbações inevitáveis que ocorreriam durante a medição de um objeto quântico. Segundo essa interpretação, o processo de medição de um objeto quântico depende da interação entre os componentes do aparato experimental e o objeto a ser medido. As interações provocariam perturbações inevitáveis, pois o sistema quântico seria muito sensível e a intensidade das interações estaria limitada pelo princípio da quantização da energia. Para ilustrar esse seu ponto de vista, Heisenberg propõe um experimento de pensamento para medir a posição de um elétron que ficou conhecido como “Microscópio de Heisenberg”. Ele supõe uma quantidade de radiação incidindo sobre o elétron, que é então espalhada e posteriormente detectada. Após a interação com o elétron, podemos dizer que a radiação “carrega” informação sobre a posição do elétron que pode ser deduzida das leis da óptica clássica. Segundo essas leis, a incerteza sobre a posição do elétron é proporcional ao comprimento de onda da radiação. Durante a interação a radiação transfere momento linear para o elétron e, em virtude do princípio de conservação do momento linear, pode ser dito que a radiação também “carrega” informação sobre o momento linear do elétron. A incerteza sobre o momento linear do elétron (medido através da análise da radiação espalhada por ele) pode ser calculada levando-se em consideração o chamado efeito Compton, isto é, assumindo que a interação entre o elétron e a radiação de ser modelada como uma colisão entre partículas. A incerteza relativa ao momento linear é inversamente proporcional

ao comprimento de onda da radiação. Através desse experimento de pensamento, Heisenberg então conclui que o aumento da precisão das medidas de posição do elétron resulta em diminuição da precisão das medidas de momento linear do elétron e vice-versa. O valor mínimo do produto dessas incertezas é $h/2$.

Ao apresentar as relações de certeza a partir desse experimento de pensamento, Heisenberg parece assumir que a perturbação imprevisível provocada pelo processo de medição da posição ou do momento linear é a causa da incerteza. Nesse sentido, o princípio da incerteza seria provocado por limitações práticas relacionadas ao procedimento experimental. Ao adotar essa interpretação Heisenberg considera que o elétron possuía posição e momento linear definidos antes da interação com a radiação. Em outras palavras, o conceito de estado usado na mecânica clássica poderia ainda ser aplicado ao elétron. Entretanto, seria impossível conhecer esse estado pois o processo de medição perturbaria de maneira incontrolável o valor dessas grandezas que definem o estado. Essa interpretação de Heisenberg foi criticada por Bohr. Há uma discordância a respeito do momento em que Bohr apresentou seu descontentamento com a hipótese da perturbação de Heisenberg. Segundo Arthur Fine (1986), foi apenas em 1935 que Bohr abandonou essa hipótese. O paradoxo de EPR, que será discutido na próxima seção, teria motivado Bohr a formular uma nova interpretação para a relação entre o aparato experimental e o objeto quântico. Nas palavras de Fine:

A resposta de Bohr ao EPR marca uma ruptura definitiva com sua visão declarada. Pois em escritos anteriores e em sua resposta a Einstein nas conferências da Solvay, Bohr sempre argumentou que a perturbação criada pela medição de uma variável particular causava uma mudança real na situação física que altera as pré-condições para a medição de variáveis complementares. Mas aqui Bohr passou dessa doutrina da perturbação física real para o que se poderia chamar de doutrina da perturbação semântica.¹⁷ (1986, p.35).

Em contrapartida, existem indícios de que Bohr adotou uma postura crítica à interpretação de Heisenberg antes de 1935. Kauark-Leite (2004, p.204) destaca que Bohr, em um manuscrito de outubro de 1927, afirma explicitamente que a incerteza não é causada pela mudança descontínua do elétron durante o processo de medição.

¹⁷ “Bohr's response to EPR mark a definit break from his perviously stated view. For in earlier writings and in his response to Einsten in the Solvay conferences, Bohr had always argued that the disturbance created by a measurement of a particular variable caused a real change in the physical situation which altered the preconcitions for applying complementarity variables. But here Bohr switched from this doctrine of actual physical disturbance to what one might call a doctrine of semantic disturbance.” (Fine, 1986, p.35).

Essas relações de incerteza recíprocas foram dadas em um artigo recente de Heisenberg (Zs. F. Phys. [43, 172-198] 1927) como a expressão do elemento estatístico que, devido à característica de descontinuidade implícita no postulado quântico, caracteriza qualquer interpretação de observações por meio de conceitos clássicos. Deve ser lembrado, no entanto, que a incerteza em questão não é simplesmente uma consequência de uma mudança descontínua de energia e momento, digamos, durante uma interação entre radiação e partículas materiais empregadas na medição das coordenadas espaço-temporais dos indivíduos. De acordo com as considerações acima, a questão é mais a da impossibilidade de definir com rigor tal mudança quando se considera também a coordenação espaço-temporal dos indivíduos. (Bohr, 1985, p.93)¹⁸

Bohr se mostrou crítico também a ideia de que o conceito de estado da mecânica clássica pudesse ser aplicado ao objeto quântico antes da medição. Segundo Henry Folse, a interpretação de Bohr sobre as relações de incerteza de Heisenberg pode ser pensada nos seguintes termos:

Em vez de assumir que o conceito clássico de estado do sistema de fato representa o sistema, mas que o princípio da incerteza mostra que isso não pode ser conhecido, como faz a interpretação de ‘perturbação’, Bohr tentou mostrar que esse conceito clássico de estado do sistema é um objetivo atingível apenas assumindo que é possível aplicar os modos de descrição espaço-temporal e causal ao sistema ao mesmo tempo. Uma vez que o postulado quântico implica que isso é precisamente o que não pode ser feito, o conceito do estado mecânico clássico do sistema não está mais bem definido na aplicação aos objetos da descrição da mecânica quântica (Folse, 1985, p.132)¹⁹.

Bohr considera que a distinção entre o sistema físico e aparato experimental, como é feita usualmente na física clássica, não pode ser aplicada à mecânica quântica. Não é possível

18 “These reciprocal uncertainty relations were given in a recent paper of Heisenberg (Zs. F. Phys. [43, 172-198] 1927) as the expression of the statistical element which, due to the feature of discontinuity implied in the quantum postulate, characterizes any interpretation of observations by means of classical concepts. It must be remembered, however, that the uncertainty in question is not simply a consequence of a discontinuous change of energy and momentum say during an interaction between radiation and material particles employed in measuring the space-time coordinates of the individuals. According to the above considerations the question is rather that of the impossibility of defining rigorously such a change when the space-time coordination of the individuals is also considered.” (Bohr, 1985, p.93)

19 “Instead of assuming that the classical concept of the state of the system does indeed represent the system but that the uncertainty principle shows this cannot be known, as does the “disturbance” interpretation, Bohr tried to show that this classical concept of the system’s state is an attainable goal only by assuming that it is possible to apply both spatio-temporal and causal modes of description to the system at the same time. Since the quantum postulate entails that this is precisely what cannot be done, the concept of the classical mechanical state of the system is no longer well-defined in application to the objects of quantum mechanical description” (Folse , 1985, p.132).

assumir que o sistema quântico possui propriedades bem definidas antes da medição. Propriedades físicas só podem ser atribuídas ao final do processo de medição. Nesse sentido, o fenômeno quântico seria constituído pela combinação do sistema quântico com o aparato experimental.

A dificuldade envolvida na interpretação do princípio da incerteza se manifesta no uso da linguagem. Segundo Bohr, a afirmação de que “a posição e o momento de uma partícula não podem ser medidos simultaneamente com precisão arbitrária”, poderia gerar um entendimento equivocado do princípio de Heisenberg (Bohr 1937, p.292). Ela poderia implicar que momento linear e posição são propriedades bem definidas, e que uma medição poderia revelar apenas uma delas. Para evitar esse mal-entendido, Bohr defende o uso estritamente pragmático dos conceitos clássicos. Esses termos não devem ser associados a realidades físicas como é usualmente assumido na física clássica:

a posição e o momento de uma partícula não podem ser medidos simultaneamente com precisão arbitrária”. De acordo com tal formulação, pareceria que se tratava de alguma renúncia arbitrária à medida de um ou outro dos dois atributos bem definidos do objeto, o que não impediria a possibilidade de uma futura teoria tomar ambos atributos em conta nas linhas da física clássica. A partir das considerações acima, deve ficar claro que toda a situação na física atômica priva de todo significado os atributos inerentes que as idealizações da física clássica atribuiriam ao objeto (Bohr 1937, p.292).²⁰

Ainda em 1927, em sua famosa palestra na conferência de Como, publicada em 1928, Bohr apresenta pela primeira vez seu princípio da complementaridade. Este é o elemento central de sua interpretação da física quântica. Ele acreditava que o princípio da complementaridade poderia acomodar os diversos aspectos exóticos da teoria quântica, inclusive o princípio da incerteza. O princípio da complementaridade estabelece que os conceitos da física clássica seriam aplicados apenas de forma restrita à mecânica quântica. Por exemplo, não seria possível fazer uma descrição simultaneamente espaço-temporal e causal de um fenômeno quântico. Em uma descrição espaço-temporal clássica, define-se a posição

20 “the position and momentum of a particle cannot simultaneously be measured with arbitrary accuracy.” According to such a formulation it would appear as though we had to do with some arbitrary renunciation of the measurement of either the one or the other of two well-defined attributes of the object, which would not preclude the possibility of a future theory taking both attributes into account on the lines of the classical physics. From the above considerations it should be clear that the whole situation in atomic physics deprives of all meaning such inherent attributes as the idealizations of classical physics would ascribe to the object” (Bohr 1937, p.292).

espacial do sistema físico em todo instante de tempo associada simultaneamente a uma regra causal de sucessão entre o estado anterior (causa) e estado posterior (efeito) do sistema em questão, expressa, por exemplo, pelas equações de Lagrange e Hamilton. No contexto quântico, a descrição causal entre dois estados consecutivos é mantida pela equação de evolução temporal do sistema, como no caso da equação de Schrödinger, sem que se possa simultaneamente associá-la a uma descrição espaço-temporal. Por outro lado, a determinação espaço-temporal do sistema quântico é possível no momento preciso da medição, à custa de um salto não causal entre os estados imediatamente anterior e imediatamente posterior à medição. Nesse sentido, Bohr expressa essa situação quântica em termos de uma complementariedade mutuamente exclusiva entre a descrição espaço-temporal, experimentalmente definida, e a descrição causal, teoricamente descrita pelo formalismo quântico. Bohr sugere que esse princípio da complementariedade esteja na origem da explicação do princípio de incerteza de Heisenberg. Uma vez que a equação de Schrödinger está associada aos princípios de conservação da energia e do momento linear, os operadores conjugados, energia e tempo, por um lado, e momento linear e posição, por outro, só podem ser definidos experimentalmente com precisão de modo complementar²¹. Assim, segundo a complementariedade, não seria medir simultaneamente com precisão posição e momento linear relativos a um sistema quântico. M. Kumar afirma que, através da complementariedade Bohr reduziu o “princípio da incerteza a uma regra especial” (2008, p. 243), no caso, a regra da complementariedade. Os pares complementares de observáveis”, como posição e momento, correspondem a descrições complementares do fenômeno quântico.

Ainda na conferência de 1927, Bohr relaciona o princípio da complementariedade à dualidade onda-partícula. Nesse caso, a representação ondulatória de um fenômeno quântico seria complementar à sua descrição corpuscular. As condições experimentais associadas ao caráter corpuscular são complementares àquelas que refletem o caráter ondulatório. A complementariedade da dualidade onda-partícula se refere a descrições mutuamente excludentes. O mesmo não pode ser dito para a complementariedade dos observáveis incompatíveis das relações de incerteza. Eles só serão complementarmente excludentes se suas medidas forem realizadas de modo preciso, o que implicaria contextos experimentais de medição não simultâneos. Se as medidas de ambos forem imprecisas, contendo incertezas,

21 Cf. Kauark-Leite 2017, p. 68-79.

então a exclusão mútua não mais se verifica, sendo possível a medição simultânea do par de variáveis conjugadas. Segundo M. Kumar:

Havia uma diferença sutil entre a complementaridade onda-partícula e aquela envolvendo qualquer par de observáveis físicos como posição e momento. De acordo com Bohr, os aspectos complementares de onda e partícula de um elétron ou luz são mutuamente exclusivos. É um ou outro. No entanto, apenas se a posição ou o momento de um elétron, por exemplo, for medido com certeza, é que a posição e o momento são mutuamente exclusivos. Caso contrário, a precisão com que ambos podem ser medidos e, portanto, conhecidos é dada pela relação de incerteza posição-momento. (Kumar, M., 2008, p.395)²²

As descrições corpuscular e ondulatória nunca acontecem simultaneamente, entretanto, sendo caracterizações exclusivas de aspectos distintos, ambas são necessárias para dar uma caracterização completa do sistema quântico. Segundo Kauark-Leite não há contradição nisso, “pois para Bohr essas descrições dizem respeito ao fenômeno quântico, ou seja, ao conjunto formado pelo sistema observado e o instrumento de observação” (2004, p. 210). As descrições complementares não se referem à realidade objetiva do sistema quântico. Se esse fosse o caso, seriam atribuídas características contraditórias ao mesmo objeto. Assim, os conceitos clássicos de onda e partícula só podem ser aplicados à “maneira como a realidade nos aparece no contexto dado pelas condições experimentais.” (Kauark-Leite, 2004, p. 210).

O princípio da complementaridade é o elemento central da interpretação da mecânica quântica formulada por Bohr. Ela é conhecida como interpretação da complementaridade. É importante ressaltar que há uma distinção entre a interpretação da complementaridade e a interpretação de Copenhague. Ambas estão associadas às ideias de Bohr, entretanto, “o que é chamado de interpretação de Copenhague corresponde apenas em parte à visão de Bohr” (D. Howard, 2004, p. 669)²³. Ainda segundo Howard, a ideia de que a interpretação de

22 “There was a subtle difference between wave-particle complementarity and that involving any pair of physical observables like position and momentum. According to Bohr, the complementary wave and particle aspects of an electron or light are mutually exclusive. It is one or the other. However, only if either position or momentum of an electron, for example, is measured with pinpoint certainty are position and momentum mutually exclusive. Otherwise, the precision with which both can be measured and therefore known is given by the position-momentum uncertainty relation” (Kumar, M., 2008, p.395).

23 “What is called the Copenhagen interpretation corresponds only in part to Bohr's view” (Howard, 2004, p. 669)

Copenhague é constituída por uma visão única, é “uma invenção do pós-guerra, pela qual Heisenberg foi o principal responsável” (2004, p. 669)²⁴.

Ainda que não exista rigorosamente uma convergência clara entre as ideias de Bohr e Heisenberg, elas certamente se confrontam com as expectativas construída pela física nos séculos XVIII e XIX. O embate entre as novas interpretações da mecânica quântica e a tentativa de resgatar um certo ideal da física clássica é bem representado pela controvérsia entre Einstein e Bohr. Nas conferências de Solvay de 1927 e de 1930, Einstein apresentou engenhosos experimentos de pensamento com o objetivo de mostrar que a mecânica quântica era inconsistente²⁵. No entanto, em cada um desses casos, Bohr encontrou falhas nas análises de Einstein. A superação dos desafios propostos por Einstein contribuiu para a consolidação da teoria quântica e da interpretação da complementaridade. Segundo Kumar, “Einstein aceitou os contra-argumentos de Bohr, assim como a comunidade física da época”²⁶ (2008, p.282). Após a conferência de 1930, Einstein abandonou as tentativas de demonstrar que a mecânica quântica era inconsistente. Em vez disso, ele se concentraria em mostrar que a teoria era incompleta.

Em 1935, já em Princeton, Einstein formulou um novo experimento de pensamento que desafiaria a teoria quântica. Em parceria com Nathan Rosen e Boris Podolsky, Einstein trabalhou em uma nova estratégia para demonstrar que a mecânica quântica não era uma teoria definitiva como Bohr afirmava. Einstein, Podolsky e Rosen publicaram, em maio de 1935, um artigo no qual afirmavam que a mecânica quântica é incompleta, que não é capaz de capturar totalmente a realidade física. O artigo ficou conhecido como o paradoxo EPR.

1.2 O EXPERIMENTO EPR

Para demonstrar que a mecânica quântica não é uma teoria completa, Einstein, Podolsky e Rosen exploraram a interpretação de que as relações de incerteza seriam provocadas por perturbações durante o processo de medição. Essa interpretação oferece a possibilidade de

24 “a post-war invention, for which Heisenberg was chiefly responsible.” (Howard, 2004, p. 669)

25 Uma análise detalhada sobre os experimentos de pensamento de Einstein é feita por M. Kumar (2008).

26 “Einstein accepted Bohr's counter-arguments, as did the physics community at the time.” (Kumar, 2008, p.282)

imaginar medidas que não perturbem o sistema quântico. Se consideramos que a posição e o momento linear do elétron no microscópio de Heisenberg estão definidos antes da interação com a radiação, podemos imaginar uma forma alternativa de investigar experimentalmente essas grandezas físicas. A elaboração de um experimento desse tipo revelaria que certos estados com propriedades bem definidas não possuem representação na teoria quântica. Essa possibilidade foi explorada por Einstein, Podolsky e Rosen no artigo de EPR. O experimento de pensamento proposto no artigo será descrito a seguir.

No experimento de EPR, duas partículas preparadas em um estado quântico emaranhado são posteriormente separadas por uma distância arbitrária. O emaranhamento é uma propriedade exclusiva da mecânica quântica, de difícil definição, que qualitativamente pode ser considerada como um tipo de correlação entre as propriedades das partículas (como posição, momento, spin, etc.) mais forte do que as correlações clássicas. Para tornar o conceito mais claro, comparemos, através de um exemplo, as correlações clássicas e quânticas. Inicialmente consideremos as correlações clássicas entre as características físicas de irmãos gêmeos. Se, considerarmos os gêmeos idênticos separados por uma distância arbitrária, a observação de uma característica física de um dos irmãos resultará no conhecimento imediato e indireto da mesma característica física do segundo irmão. As correlações em tal experimento imaginário não apresentam dificuldades interpretativas para o senso comum, pois confiamos na existência de uma causa comum, a saber, as configurações genéticas, que garantem todas as correlações. A configuração genética determina *a priori* as características físicas dos dois irmãos. Um estado emaranhado de duas partículas P_1 e P_2 é o análogo quântico para os irmãos gêmeos. Entretanto, a interpretação das correlações no caso quântico é dificultada, pois, em geral, o resultado de uma medição experimental de uma propriedade quântica é indeterminado. Assim, se a medição de uma quantidade física é realizada nas partículas P_1 e P_2 , os resultados experimentais, em geral, são definidos apenas após a medição. Porém, surpreendentemente, há correlação entre eles. Segundo Zeilinger (2005), “temos, portanto, dois processos contingentes que estão perfeitamente ligados entre si passando por grandes distâncias”(p. 87).

Consideremos o par de partículas emaranhadas proposto no experimento de EPR. A preparação de um estado emaranhado nos permite garantir que se as posições das partículas P_1 e P_2 forem medidas, os resultados dessas medidas serão correlacionados. Isso ocorrerá ainda que esses valores sejam indefinidos antes das medições. O mesmo pode ser dito a respeito das

medições dos momentos lineares das partículas P_1 e P_2 . É importante ressaltar que o argumento de EPR está baseado em situações contrafatuais (Godoy, 2018, p. 7). Se as medidas fossem de fato realizadas o estado do sistema seria projetado, e o emaranhamento seria perdido. Desse modo, o argumento de EPR não seria mais válido.

Os autores de EPR consideram duas definições fundamentais. A primeira diz respeito à condição de completude de uma teoria: “todo elemento da realidade física precisa ter um correspondente na teoria física” (Einstein et. al, 1935, p. 777)²⁷. A segunda definição estabelece os critérios de realidade física: “Se, sem de modo algum perturbar um sistema, pudermos prever com certeza (ou seja, com probabilidade igual à unidade) o valor de uma quantidade física, então existe um elemento de realidade física correspondente a essa quantidade física” (Einstein et. al, 1935, p. 777)²⁸.

A possibilidade de “prever com certeza” a posição da P_2 através de uma medida da posição e P_1 , faz com que uma autofunção do operador posição de P_2 esteja associada a um elemento de realidade física. Para os autores de EPR, isso se deve ao fato de que uma medida da posição de P_1 não perturba o sistema de P_2 . O mesmo pode ser dito a respeito dos momentos lineares das partículas P_1 e P_2 . Assim, o mesmo elemento de realidade estaria associado a uma autofunção do operador momento linear da partícula P_2 . Entretanto, no formalismo quântico não existe uma função de onda que é simultaneamente autofunção dos operadores de posição e momento linear de uma partícula. Nesse sentido, o esse elemento de realidade não teria correspondência na teoria quântica. Portanto, os autores concluem que a teoria quântica é incompleta.

No mesmo ano Bohr (1935) publicou um artigo com sua resposta ao novo desafio proposto por Einstein. Bohr decide usar o mesmo título do EPR, “A descrição da realidade física fornecida pela mecânica quântica pode ser considerada completa?”, entretanto, ele responde positivamente a questão de Einstein e seus colaboradores. Em sua resposta Bohr não apontou erros no argumento de EPR. Para refutar a conclusão de que a teoria quântica é incompleta, ele rejeitou o critério de realidade proposto em EPR.

27 “every element of physical reality must have a counterpart in physical theory.” (Einstein et. al, 1935, p. 777)

28 “If, without in any way disturbing a system, we can predict with certainty (i.e., with probability equal to unity) the value of a physical quantity, then there exists an element of reality corresponding to that quantity.” (Einstein et. al, 1935, p. 777)

Bohr superou os desafios propostos por Einstein em 1927 e 1930 usando o argumento de que as medições causavam perturbações incontroláveis nos objetos quânticos. Na construção do EPR, Einstein torna inviável o uso desse mesmo argumento da perturbação. No esquema de EPR, uma propriedade da partícula P1 poderia ser medida sem que houvesse uma interação entre a partícula P1 e um instrumento de medida. A alternativa explorada por Einstein para evitar o argumento das perturbações incontroláveis foi oferecida pela própria tese da perturbação. Ao afirmar que não podemos observar uma propriedade do sistema quântico sem perturbar, já estaríamos assumindo que o objeto quântico possui essa propriedade, que ela é independente do arranjo experimental. Isso seria equivalente à suposição de que as propriedades do objeto possuem realidade objetiva. A definição de elemento de realidade de EPR está baseada nessa suposição.

A resposta de Bohr a EPR está baseada em sua definição de fenômeno quântico. Para Bohr, o objeto quântico a ser medido e o aparato experimental usado na medição formam o todo inseparável que seria o fenômeno quântico. Assim, a ideia de que o objeto quântico e suas propriedades existem independentemente de um arranjo experimental, que é a base da definição de realidade de EPR, estaria equivocada. Segundo Bohr, o equívoco na definição de realidade de EPR está em se referir aos “atributos físicos dos objetos ao lidar com fenômenos em que nenhuma distinção nítida pode ser feita entre o comportamento dos próprios objetos e sua interação com os instrumentos de medição” (Bohr, 1949, p. 234)²⁹.

Para Bohr, os elementos de realidade física de uma partícula são definidos pelo arranjo experimental usado no processo de medição. A posição de uma partícula se tornaria real apenas quando ela interage com um aparato projetado para medir sua posição. Segundo essa perspectiva, afirmações sobre a posição e o momento de uma partícula antes da medição não têm significado.

No caso do EPR, como as partículas P1 e P2 interagiram antes de serem separadas, Bohr defende que elas não podem ser consideradas como duas partículas independentes. Se um experimento é projetado para medir a posição exata da partícula P1, a partir da qual a posição da partícula P2 pode ser calculada com certeza, ele impede que o momento linear de P1 seja medido. Portanto, ele impede que o momento linear de B possa ser calculado com certeza. Para Bohr, os elementos de realidade física da partícula P2 seriam definidos pela natureza do

29 “physical attributes of objects when dealing with phenomena where no sharp distinction can be made between the behaviour of the objects themselves and their interaction with the measuring instruments.” (Bohr, 1949, p. 234)

dispositivo de medição que interage com P2 e pela medição feita em P1. Dessa forma, Bohr rejeita a definição de elemento de realidade proposta por EPR e afirma que não é válida a conclusão de que a mecânica quântica é uma teoria incompleta.

O desafio proposto por EPR foi amplamente divulgado. Em 4 de maio de 1935, o jornal *The New York Times* publicou uma matéria com o título “Einstein ataca a teoria quântica”. Inicialmente alguns físicos imaginaram que o EPR teria consequências devastadoras para a teoria quântica. Paul Dirac afirmou que “agora temos que começar tudo de novo” pois Einstein teria provado que a teoria quântica não funcionava (Kumar, 2008, p. 302)³⁰. Posteriormente, entre os físicos, tornou-se majoritária a posição favorável à interpretação de Bohr. Segundo Kumar, “como a maioria dos físicos, Dirac aceitou que Bohr mais uma vez saíra vitorioso de uma batalha com Einstein” (2008, p. 302)³¹. Entretanto, não houve consenso em torno da posição de Bohr. O argumento de EPR sobre a incompletude da teoria quântica fomentou a ideia de que hipóteses alternativas poderiam completar a mecânica quântica. A teoria poderia ser incompleta devido a sua incapacidade de incorporar certas propriedades essenciais da realidade. Essas propriedades seriam ocultas para a teoria quântica, mas quando consideradas poderiam restaurar noções clássicas como determinismo ou a realidade objetiva dos sistemas físicos. Teorias que defendem essa possibilidade são conhecidas como teorias de variáveis ocultas.

1.3 AS TEORIAS DE VARIÁVEIS OCULTAS

Segundo Michel Bitbol (1998), “a formulação de teorias de variáveis ocultas foi motivada desde o início pelo desejo de manter um certo ideal do conhecimento científico diante da física quântica que parecia traí-lo.”³² (p. 341). As explicações teóricas acerca dos surpreendentes resultados experimentais reportados desde o início do século XX introduziram severas dificuldades interpretativas. A teoria quântica impõe conflitos não apenas com o senso comum, mas principalmente com princípios que sempre foram caros aos físicos. As teorias de

30 “now we have to start all over again” (Kumar, 2008, p. 302)

31 “Dirac accepted that Bohr had once more emerged victorious from a battle with Einstein.” (Kumar, 2008, p. 302)

32 “La formulation de théories à variables cachées a été motivée dès le début par le souhait de maintenir un certain idéal de la connaissance scientifique face à une physique quantique que semblait le trahir” (Bitbol, 1998, p. 341)

variáveis ocultas foram formuladas com a finalidade de garantir a permanência de alguns desses princípios.

No último parágrafo do EPR os autores sugerem que uma nova teoria poderia surgir, substituir a mecânica quântica e resgatar o ideal da física clássica apresentando uma descrição completa da realidade física.

Embora tenhamos mostrado que a função de onda não fornece uma descrição completa da realidade física, deixamos em aberto a questão de saber se tal descrição existe ou não. Acreditamos, no entanto, que tal teoria seja possível. (Einstein et al, 1935, p.780)³³

A possibilidade de reinterpretar a teoria quântica ou incorporar elementos que a tornasse uma descrição mais completa, já haviam sido questionadas por John von Neumann em seu célebre livro sobre os fundamentos matemáticos da mecânica quântica, publicado em 1932. Nesse livro, von Neumann apresenta uma prova matemática da impossibilidade da complementação da teoria quântica através da inclusão de variáveis ocultas. Ele considerou que as variáveis ocultas seriam inacessíveis à medição e, portanto, não estariam sujeitas às restrições impostas pelo princípio da incerteza. A prova de von Neumann foi aceita por quase a totalidade dos físicos e filósofos. A filósofa Grete Hermann foi uma exceção. Em um ensaio, publicado em 1935³⁴, ela mostrou que a prova de von Neumann era inconsistente. Entretanto, a refutação definitiva da prova de von Neumann foi aceita apenas trinta anos depois, quando John Bell (1966) retorna ao tema. Bell considera o mesmo ponto problemático que já havia sido apontado por Hermann em sua refutação de 1935.

Antes da refutação de Bell, o físico americano David Bohm também desafiou a prova de von Neumann. Sem apresentar uma refutação matemática da prova, Bohm publicou em 1952 dois artigos em que ele apresentava uma reformulação da mecânica quântica. A reformulação foi baseada na incorporação de variáveis ocultas na teoria. Bohm retomou a sugestão que estava implícita no EPR. Em uma passagem de seu livro *Quantum Theory*, Bohm analisa a relação entre o argumento de EPR e a noção de variáveis ocultas:

O que os autores desejavam fazer com seu critério de realidade era mostrar que a interpretação acima da presente teoria quântica é insustentável e que a função de onda não pode conter uma descrição completa de todos os fatores fisicamente significativos (ou "elementos da realidade") existentes dentro de

33 “While we have thus shown that the wave function does not provide a complete description of the physical reality, we left open the question of whether or not such a description exists. We believe, however, that such a theory is possible.” (Einstein et al., 1935, p.780)

34 A tradução para o francês foi publicada em (Hermann, 1996)

um sistema. Se sua afirmação pudesse ser provada, então seríamos levados a buscar uma teoria mais completa, talvez contendo algo como variáveis ocultas, em termos das quais a atual teoria quântica seria um caso limite.³⁵ (1989, p.612-613)

Bohm publicou a primeira versão de seu *Quantum Theory* em 1951. Nesse livro ele analisa detalhadamente os fundamentos da teoria quântica e a interpretação de Bohr. Segundo Kumar foi durante o processo de escrita de seu livro que Bohm “ficou insatisfeito com a interpretação de Bohr”³⁶ (2008, p.320). Ainda segundo Kumar (2008, p.320), foram a sutileza do experimento mental EPR e as suposições razoáveis sobre as quais ele foi construído que levaram Bohm a questionar a interpretação de Copenhague (2008, p.320).³⁷

Diante dessa insatisfação, Bohm publicou em 1952 os dois artigos em que ele apresenta uma interpretação alternativa da teoria quântica. Na interpretação bohmiana, o estado de um sistema de N partículas é caracterizado por sua função de onda (chamada de onda piloto) e por uma variável associada às posições reais das partículas. A onda piloto é tomada como uma onda física real e não apenas um instrumento matemático. Nessa abordagem, o processo de medição também deve ser incluído na descrição quântica. Assim, o objeto quântico mais o aparato experimental compõem um o sistema global de N partículas. A evolução temporal é governada por duas equações, uma associada à onda piloto e a outra às posições das partículas. A onda piloto evolui de acordo com a equação de Schrödinger, assegurando assim que a teoria de Bohm reproduza os mesmos resultados da teoria quântica tradicional. A evolução das posições das partículas é dada pela equação diferencial de primeira ordem chamada de equação guia. Essas equações poderiam definir exatamente os resultados de cada processo de medida. Mas, devido à complexidade do sistema global, as posições iniciais das N partículas são desconhecidas, elas são as variáveis ocultas.³⁸

35 “What the authors wished to do with their criteria for reality was to show that the above interpretation of the present quantum theory is untenable and that the wave function cannot possibly contain a complete description of all physically significant factors (or “elements of reality”) existing within a system. If their contention could be proved, then one would be led to search for a more complete theory, perhaps containing something like hidden variables, in terms of which the present quantum theory would be a limiting case.(Bohm, 1989, p.612-613)

36 “became dissatisfied with Bohr’s interpretation” (Kumar, 2008, p.320)

37 “It was the subtlety of the EPR thought experiment, and what he came to regard as the reasonable assumptions on which it was constructed, that led Bohm to question the Copenhagen interpretation.” (Kumar, 2008, p.320)

38 Uma revisão dos fundamentos matemáticos da teoria de Bohm é apresentada na tese de doutorado de G. B. dos Santos (2012)

Através das teorias de variáveis ocultas, o caráter estatístico da mecânica quântica seria interpretado como resultado da análise coletiva de um grande número (*ensemble*) de objetos microscópicos. Assim, o exame individual dos constituintes do *ensemble* proporcionaria uma explicação determinista para os resultados da mecânica quântica. Nesse sentido, teorias como a de Bohm poderiam resgatar um determinismo ontológico na física moderna, em que os resultados estocásticos da mecânica quântica estariam associados ao nosso desconhecimento sobre o valor de todas as variáveis do sistema. Segundo Bitbol (1998, p.342) a restauração do determinismo seria inicialmente a ambição dos defensores das teorias de variáveis ocultas, mas, posteriormente expectativas menos restritivas foram adotadas. Para exemplificar essa mudança de atitude, Bitbol (1998, p.342) cita o fato de que Bohm inicialmente se referia a sua teoria como a “interpretação causal da mecânica quântica”, dando enfoque ao resgate do determinismo. Posteriormente, Bohm adotou a denominação de “interpretação ontológica da mecânica quântica”, que destacava a possibilidade de descrever os objetos como eles são e não como eles aparecem nos experimentos. Sua finalidade nesse momento seria, nas palavras de Bitbol (1998), “restaurar um escopo ontológico à física” (p. 342). A interpretação de Bohr defende as afirmações sobre as propriedades de um sistema quântico isolado, tomado como um objeto em si, são sem sentido. Essa interpretação é incompatível com a ideia de realidade objetiva do sistema quântico. Contrariamente, interpretações ontológicas da mecânica quântica, como a proposta por Bohm, defendem que a teoria deve explicar as propriedades dos objetos tomados em si mesmos.

A possibilidade da retomada dos ideais da física clássica também chamou a atenção de Bell. Ao se referir à teoria de bohmiana, Bell afirma que:

Mas em 1952 eu vi o impossível feito. Foi nos artigos de David Bohm. Bohm mostrou explicitamente como parâmetros podem de fato ser introduzidos na mecânica ondulatória não relativística, com sua ajuda a descrição indeterminista pode ser transformada em determinista. Mais importante, na minha opinião, a subjetividade da versão ortodoxa, a referência necessária ao “observador”, poderia ser eliminada.³⁹ (Bell, 1987, p.160)

39 “But in 1952 I saw the impossible done. It was in papers by David Bohm. Bohm showed explicitly how parameters could indeed be introduced, into nonrelativistic wave mechanics, with the help of which the indeterministic description could be transformed into a deterministic one. More importantly, in my opinion, the subjectivity of the orthodox version, the necessary reference to the “observer”, could be eliminated.” (Bell, 1987, p.160)

Ao afirmar que viu o “impossível feito”, Bell se refere à prova de von Neumann sobre a impossibilidade das teorias de variáveis ocultas. Bell apresenta a refutação dessa prova apenas em 1966. Dois anos antes o mesmo Bell demonstrou um teorema que estabelecia um critério experimental para a avaliação das teorias de variáveis ocultas. No ano de 1964, ele retomou o debate de 1935 entre Einstein e Bohr. De um lado, Bohr defende que as partículas não possuem propriedades preexistentes anteriores à medição. Por outro lado, Einstein considera não apenas que as propriedades das partículas existem independentemente dos observadores, mas que a existência dessas propriedades explicaria as correlações entre as partículas que poderiam ser detectadas em um experimento de EPR. O teorema de Bell permite que as posições de Bohr e Einstein sejam avaliadas experimentalmente. O físico norte-irlandês deu início, assim, a uma nova etapa na história das teorias de variáveis ocultas.

1.4 O TEOREMA DE BELL

O físico americano Henry Stapp classificou o teorema de Bell como “a descoberta mais profunda desde Copérnico” (Cf. Zeilinger, 2005, p. 89). A comunidade científica reconhece a relevância do teorema de Bell, entretanto, não há uma interpretação consensual sobre as implicações filosóficas do teorema. De forma geral, no teorema de Bell, teorias de variáveis ocultas com propriedades específicas são consideradas. As hipóteses do teorema são formuladas a partir dessas propriedades. O teorema permite a formulação de uma desigualdade matemática que estabelece um limite para o valor das correlações entre duas partículas. A desigualdade de Bell pode ser comprovada experimentalmente e sua violação acarreta na invalidação das hipóteses consideradas na dedução do teorema.

Na elaboração de seu teorema, Bell (1976) considera a formulação de Bohm do experimento de EPR. Em vez de tratar da correlação entre posição e momento linear das partículas nesse experimento de pensamento, Bohm considera a correlação entre partículas de spin meio. A abordagem matemática de sistemas de spin meio acontece em um espaço vetorial imaginário de dimensão 2, enquanto a posição e momento linear são descritas em um espaço de variáveis contínuas. Assim, a formulação de Bohm é matematicamente mais simples. Bell considera a versão de Bohm do EPR e propõe alterações no processo de medição apresentado

na versão de Bohm. Essas alterações permitiram que Bell elaborasse um teste experimental para avaliar as posições de Bohr e Einstein no debate do EPR.

Segundo Howard M. Wiseman (2014), usamos o nome “teorema de Bell” para nos referirmos, de fato, a dois teoremas distintos. No primeiro, publicado em 1964, Bell assume uma teoria de variável ocultas determinista e local como hipótese. Ou seja, um resultado do experimento seria determinado pelos “valores iniciais” das variáveis ocultas e pelas configurações dos instrumentos de medição. No segundo teorema, publicado em 1976, o caráter determinista é abandonado e a teoria de variável oculta considerada é baseada no princípio da causalidade local. Nesse caso, a causalidade não estaria associada ao determinismo. Bell usa no teorema de 1976 o conceito de causalidade probabilística, ou seja, a variável oculta provocaria apenas alterações estatísticas nos resultados do experimento. Embora as consequências dessa caracterização de Wiseman sejam contestadas por Travis Norsen (2015), pode-se admitir que houve uma mudança significativa entre a primeira e a segunda versão do teorema de Bell. A estrutura lógica é a mesma em ambas as versões, entretanto, as hipóteses são distintas.

O teorema de Bell é deduzido para um sistema composto por duas partículas P1 e P2 emaranhadas e separadas por uma distância D. A figura 1 mostra uma representação esquemática do sistema proposto no teorema de Bell. Considera-se, hipoteticamente, cada partícula sendo enviada a um laboratório equipado com um aparato experimental que permite a escolha da medição de duas grandezas físicas diferentes. A variável X pode assumir duas direções de medidas (x_1 e x_2) relativas à partícula P1. A variável Y pode assumir duas direções de medidas (y_1 e y_2) relativas à partícula P2. Os resultados das medidas de x_1 ou x_2 são representados pela variável $A = (a_1, a_2)$. Os resultados das medidas de y_1 ou y_2 são representados pela variável $B = (b_1, b_2)$. A distância D deve ser suficientemente grande para garantir a impossibilidade de haver uma relação causal entre as variáveis A e B, X e B, A e Y.

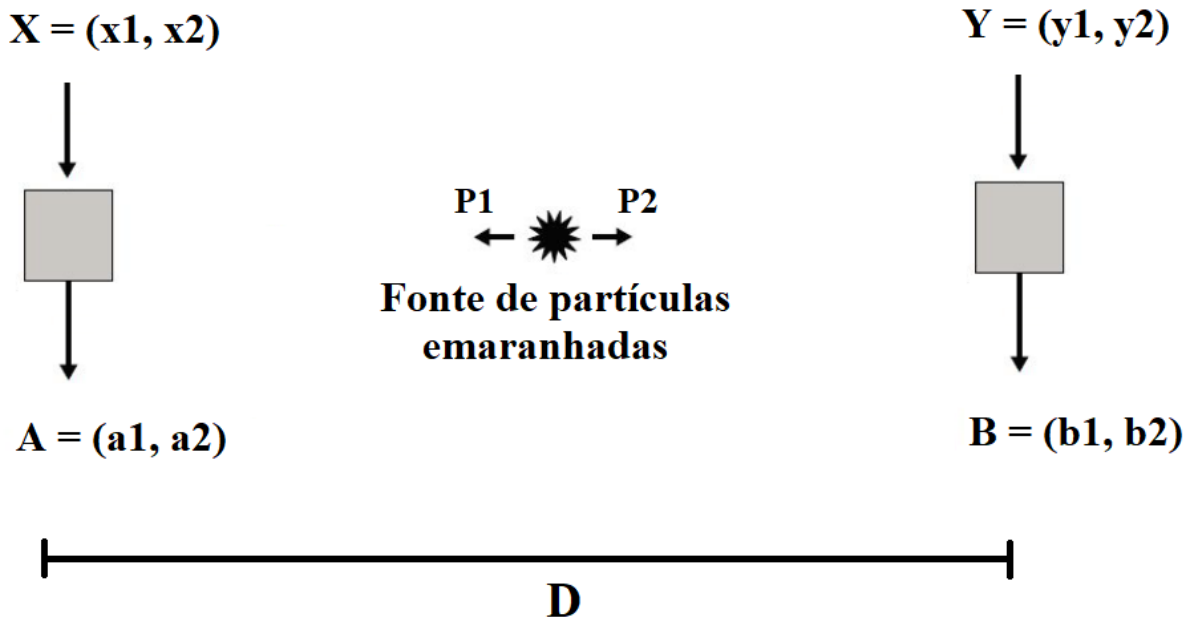


Figura 1: Representação esquemática do sistema proposto no teorema de Bell.

O teorema de Bell consiste na dedução de uma expressão para a probabilidade conjunta $P(A,B|X,Y)$ vinculada às hipóteses do teorema. A partir da expressão de $P(A,B|X,Y)$ uma desigualdade matemática entre valores mensuráveis é deduzida. Os valores mensuráveis são associados à probabilidade conjunta entre as variáveis A e B, portanto, estão relacionados à correlação entre as variáveis A e B. A desigualdade matemática, chamada de desigualdade de Bell, estabelece um limite para a correlação entre essas variáveis. Como consequência desse procedimento dedutivo, o limite estabelecido pela desigualdade de Bell depende das hipóteses assumidas no teorema. Assim, uma verificação experimental de uma violação da desigualdade de Bell implica em uma inconsistência entre as hipóteses do teorema e o resultado empírico.

Consideremos a hipótese assumida na segunda versão do teorema de Bell (1976), a saber, a causalidade local. Essa hipótese implica na independência estatística entre as variáveis A e B quando condicionadas às variáveis X, Y e λ . Matematicamente podemos escrever: $P(A,B|X,Y,\lambda) = P(A|X,\lambda)P(B|Y,\lambda)$. A variável λ é introduzida pela teoria de variável oculta para explicar classicamente as possíveis correlações entre A e B e é chamada de variável oculta. A independência estatística implica que resultados de medida da P1 (A) só dependem de X (direção medida em P1) e da variável oculta λ . Os resultados das medidas em

P2 (B) só dependem de Y (direção medida em P2) e da variável oculta λ . Em outras palavras, dado o valor da variável oculta, os resultados das medidas em P1 são independentes dos resultados das medidas em P2.

Na realidade, a hipótese da causalidade local corresponde simultaneamente a duas teses distintas. A primeira pressupõe uma relação causal para as possíveis correlações entre as variáveis A e B. Isso se deve à introdução da variável oculta λ que pode ser considerada uma causa comum de A e B (Cf. Wood & Spekkens, 2015). A segunda assume a compatibilidade entre os resultados das medições e o postulado da teoria da relatividade restrita que estabelece um valor máximo para a transição de informação. A consequência disso é a impossibilidade de que as variáveis associadas a P1 (A e X) possuam relação causal com as variáveis associadas a P2 (B e Y).

Para alcançar a forma final da probabilidade $P(A,B|X,Y)$ que permite a dedução da desigualdade de Bell, uma outra hipótese é necessária. Considerando apenas a causalidade local obtemos a expressão $P(A,B|X,Y,\lambda) = P(A|X,\lambda)P(B|Y,\lambda)$. De acordo com teoria da probabilidade clássica a probabilidade $P(A,B|X,Y)$ é dada por:

$$P(A,B|X,Y) = \int P(A,B|X,Y,\lambda) P(\lambda|X,Y) d\lambda = \int P(A|X,\lambda) P(B|Y,\lambda) P(\lambda|X,Y) d\lambda$$

Entretanto, forma da probabilidade $P(A,B|X,Y)$ que permite a dedução da desigualdade de Bell é⁴⁰:

$$P(A,B|X,Y) = \int P(A|X,\lambda) P(B|Y,\lambda) P(\lambda) d\lambda.$$

Assim, é necessário assumir uma hipótese que implique na igualdade $P(\lambda|X,Y) = P(\lambda)$. Através do teorema de Bayes podemos mostrar que: $P(\lambda|X,Y) = P(\lambda)$ se e somente se $P(X,Y|\lambda) = P(\lambda)$. Concluimos que a igualdade $P(X,Y|\lambda) = P(\lambda)$ é uma condição necessária para a dedução da desigualdade de Bell. A hipótese que implica na igualdade $P(X,Y|\lambda) = P(X,Y)$ é denominada hipótese da independência da medição (*measurement independence*, Cf. Hall, 2010). Segundo essa hipótese, as escolhas das grandezas físicas a serem medidas em P1 e em P2 devem ser independentes da variável oculta λ .

40 Brunner et. al. (2014) apresentam uma revisão sobre a dedução da desigualdade de Bell.

Assim, na versão de 1976 apresentada por Bell, as hipóteses fundamentais do seu teorema são: a causalidade local e a independência da medição. A violação da desigualdade Bell, através de resultados experimentais, mostra que ao menos uma das hipóteses não deve ser considerada válida em modelos de fenômenos naturais. Isso revela a importância deste teorema, pois todas as hipóteses são extremamente razoáveis e foram admitidas em várias teorias ao longo da história da física.

Diversos experimentos que relatam a violação da desigualdade de Bell foram realizados (Aspect, 1982; Weihs, 1998; Christensen, 2013; Hensen, 2015). Nesses experimentos, o par de partículas quânticas P_1 e P_2 deve ser preparado em um estado emaranhado. O emaranhamento das partículas combinado com as escolhas adequadas das grandezas representadas por X e Y resultam na violação da desigualdade de Bell. O emaranhamento é uma propriedade necessária para a violação da desigualdade.

Não há consenso sobre as implicações dos resultados experimentais que mostram a violação da desigualdade de Bell. A interpretação majoritária entre os físicos é bem caracterizada por Alain Aspect (2007):

A violação experimental das relações matemáticas conhecidas como desigualdades de Bell soou a sentença de morte da ideia de Einstein de “realismo local”, na mecânica quântica. Mas qual conceito, localidade ou realismo, é o problema?” (p. 866)⁴¹

Parece claro, pelas palavras de Aspect, que a incompatibilidade entre os resultados experimentais e o teorema de Bell se deve à hipótese da causalidade local. Essa citação apresenta duas concepções que são amplamente adotadas entre os físicos. A primeira concepção é a de que a manutenção do conceito de causalidade pode ser avaliada de forma independente do conceito de localidade. A segunda concepção comum entre os físicos é a de que a hipótese da causalidade local, introduzida por Bell no artigo de 1976, é equivalente à suposição de um tipo de “realismo local”. As duas concepções expressas por Aspect são majoritárias, mas também foram criticadas. A primeira concepção foi criticada por Norsen (2009). Ele afirma que a posição do próprio Bell é explicitamente contrária a essa interpretação. Segundo Norsen, a violação da desigualdade implica na incompatibilidade entre

41 “The experimental violation of mathematical relations known as Bell’s inequalities sounded the death knell of Einstein’s idea of “local realism,” in quantum mechanics. But which concept, locality or realism, is the problem?” (Aspect, 2007, p. 866)

a teoria da relatividade especial e as previsões empíricas da teoria quântica. A causalidade local seria uma hipótese única e essencial para a teoria da relatividade especial. Norsen (2009) apresenta uma série de citações de diferentes artigos de Bell que corroboram com sua tese.

A segunda concepção amplamente adotada também foi criticada por Maudlin (1996), Norsen (2007) e Wood & Spekkens (2015). Norsen aponta imprecisões no uso do termo “realismo” e afirma que nenhum dos vários sentidos possíveis do termo torna adequado o entendimento de que o realismo seria uma segunda premissa do teorema de Bell, além da localidade.

Apesar das críticas, a ideia de que a hipótese da causalidade local é a conjunção de duas hipóteses é amplamente influente entre os físicos. Assim, um experimento que mede a violação da desigualdade de Bell tornaria explícita a incompatibilidade entre o conceito de localidade e uma segunda hipótese que corresponderia à adoção de variáveis ocultas. Para alguns, a segunda hipótese é equivalente à do realismo (Cf. Scheidl, 2010), para outros, à da causalidade (Cf. Wood & Spekkens, 2015). Entretanto, como argumentamos acima, a hipótese da independência da medição é também pressuposta na dedução da desigualdade de Bell. Trataremos da relação entre a hipótese da independência da medição e a ideia de livre-arbítrio na seção 1.6. Antes avaliaremos os modelos de grafos causais propostos por Wood e Spekkens (2015) nos casos dos experimentos de Bell.

1.5 O TEOREMA DE BELL E MODELOS CAUSAIS

No artigo “*The lesson of causal discovery algorithms for quantum correlations: Causal explanations of Bell-inequality violations require fine-tuning*”, Wood e Spekkens (2015) apresentam uma abordagem do teorema de Bell que considera o formalismo de modelos causais. O estudo de modelos causais é comum nas áreas de economia (Pearl, 2015), sociologia (Pearl, 1998) e medicina (Textor 2011). Nas décadas de 1980 e 1990, foram elaborados modelos casais baseados em redes bayesianas⁴² por pesquisadores das áreas de aprendizado de máquinas, sistemas inteligentes e estatística. As principais referências sobre o

42 Redes bayesianas são representadas na forma de grafos que indicam relações de probabilidade condicional, ou seja, indicam como a probabilidade de ocorrência de uma variável depende da ocorrência de outra variável.

desenvolvimento desse formalismo dos modelos causais são as obras de Pearl (2009) e Spirtes et al (2001), que têm como base a teoria dos grafos.

Nessas obras, um modelo causal é representado por um Grafo Acíclico Dirigido (*Directed Acyclic Graph* - DAG) e por funções que exibem as relações (probabilísticas ou deterministas) entre as variáveis relevantes. As variáveis correspondem nos grafos a vértices ou nós que estão conectados por arestas direcionadas. As arestas indicam a influência causal entre as variáveis. Nesses modelos causais, os caminhos cíclicos são evitados, pois eles representariam um efeito que atua como sua própria causa. Tais relações cíclicas de causalidade são excluídas. Através desses modelos causais é possível fazer previsões de efeitos provocados por intervenções no sistema de interesse bem como análise probabilística de situações contrafatuais. Eles também permitem identificar regras de conexão a partir de relações probabilísticas entre as variáveis relevantes do sistema. Esse formalismo foi aplicado na área da ciência da computação (G. Ver Steeg et al, 2011), saúde (N. Wermuth et al, 1983 e N. Friedman, 2004) entre outras.

Apesar das teorias da física pressuporem regras causais governando os fenômenos naturais, elas não fornecem caracterizações sistemáticas das relações de causalidade. Entretanto, recentemente, o estudo de modelos causais se tornou um tópico de interesse no contexto dos fundamentos da mecânica quântica. Os estudos sobre a causalidade na mecânica quântica podem ser divididos em três linhas de investigação. Na primeira, o objetivo central é contornar a aparente incompatibilidade entre a mecânica quântica e a noção clássica de causalidade. Parte-se das premissas de que a noção de causalidade em uma teoria da física não pode ser completamente abandonada e de que um novo modelo causal próprio à mecânica quântica deve ser encontrado. No contexto quântico, a ideia de intervenção é chave, sendo ela também um componente básico do conceito de causalidade. Se A é causa de B, então uma intervenção em A pode provocar mudanças em B. Essa noção ainda está presente em experimentos quânticos, ainda que a teoria não seja compatível com os modelos causais clássicos. Nesse sentido, torna-se necessária a elaboração de modelos causais quânticos. Esse é um problema relevante da área de fundamentos da mecânica quântica que é investigado atualmente. Modelos foram propostos por Costa et al. (2016), Pienaar (2015) e outros, mesmo não existindo consenso a respeito da validade desses modelos.

A segunda linha de pesquisa que investiga a relação entre teoria quântica e causalidade é conhecida como “teoria quântica sobre estruturas causais indefinidas”. Essa linha foi

desenvolvida principalmente no *Institute for Quantum Optics and Quantum Information – Vienna* (IQOQI-Vienna) pelo grupo liderado por Caslav Brukner (Oreshkov, Costa & Brukner, 2009). Essas investigações são importantes não apenas para o entendimento da causalidade em sistemas quânticos, mas também introduzem novas perspectivas para o processamento de informações quânticas (Aráujo et al., 2014 e Feix et al., 2015). Um exemplo de processo quântico com ordem causal indefinida é o *quantum switch* (Chiribella et al, 2013). Nesse sistema duas operações quânticas são realizadas em um subsistema alvo. Entretanto, a ordem em que essas operações acontecem é controlada por outro sistema quântico em um estado de superposição. O *quantum switch* pode ser implementado em sistemas de óptica quântica, como mostra Goswami et al (2018).

A terceira linha de investigação tem como objetivo investigar a incompatibilidade entre a noção clássica de causalidade e a teoria quântica. Wood e Spekkens (2015) consideram o sistema de partículas emaranhadas proposto por Bell e investigam a possibilidade de inferir uma estrutura causal para as correlações que surgem nesse sistema. Para isso, eles usam o formalismo de modelos causais proposto por Pearl (2009). Mais especificamente, eles usam o algoritmo de descoberta causal.

Os DAGs como estruturas causais formam a base da teoria do modelo causal formulada por Pearl (2009). Cada conexão entre os nós no DAG representa uma relação causal entre variáveis. Assim, a partir da análise de um DAG, pode-se identificar quais são as causas que afetam uma determinada variável. No entanto, em vários cenários das ciências naturais, as probabilidades de ocorrência de um evento são conhecidas, mas as causas associadas a esse evento não. Nesse caso, o objetivo da pesquisa é obter a estrutura causal que produz essas relações de probabilidade. O algoritmo de descoberta causal (Pearl, 2009) é a ferramenta da teoria de modelos causais que permite um tratamento sistemático dessa investigação.

O algoritmo de descoberta causal é baseado em dois princípios: a estabilidade e a minimalidade. Diferentes estruturas causais podem produzir a mesma distribuição de probabilidade das variáveis do sistema de interesse. Entretanto, assumindo os princípios de estabilidade e minimalidade, pode-se restringir o número de estruturas causais que correspondem a uma dada distribuição de probabilidade. Uma estrutura causal é considerada estável se sua explicação para as distribuições de probabilidade das variáveis for robusta à mudanças nos parâmetros do sistema investigado. A estabilidade é essencial para assegurar que as distribuições de probabilidade sejam definidas por uma estrutura causal e não por uma

configuração específica de parâmetros que satisfaça, apenas de forma casuística, as distribuições de probabilidade. Portanto, as estruturas causais selecionadas pelos algoritmos de descoberta causal excluem modelos baseados em ajustes finos dos parâmetros, que forneceriam uma explicação restrita às relações entre as variáveis do sistema.

A suposição de minimalidade resulta na seleção da estrutura causal mais simples que explica as distribuições de probabilidade associadas ao sistema de interesse. Para entender os critérios de simplicidade, consideremos dois modelos causais M_1 e M_2 associados ao mesmo conjunto de variáveis. Se sempre for possível encontrar um conjunto de parâmetros que faz com que M_2 reproduza todas as distribuições de probabilidade fornecidas por M_1 , e o contrário não for verdadeiro, dizemos que M_1 é mais simples que M_2 . Admite-se que um modelo mais simples é mais falseável e que, portanto, pode ser submetido a um maior número de testes experimentais. Modelos causais que são mais falseáveis e bem-sucedidos em todos os testes experimentais são mais confiáveis do que modelos menos falseáveis. Portanto, com base em um falibilismo de tipo popperiano, os algoritmos de descoberta causal selecionam as estruturas causais mais simples.

Ao aplicar o algoritmo de descoberta causal no sistema de partículas emaranhadas proposto por Bell, Wood e Spekkens (2015) concluem que o algoritmo não consegue distinguir correlações quânticas que violam as desigualdades de Bell de correlações quânticas que as satisfazem. Eles mostram também que os possíveis candidatos a estruturas causais que descreveriam as correlações do sistema emaranhado têm que infringir um dos princípios básicos desses algoritmos que é a suposição de estabilidade. Nas palavras dos autores:

Demonstramos que qualquer modelo causal que possa explicar as correlações que violam a desigualdade de Bell (ou mesmo explicar as correlações que satisfazem a desigualdade de Bell sem recorrer a variáveis ocultas) tem a característica de explicar as independências condicionais entre as variáveis observadas, em particular condição de não-sinalização, deve envolver um ajuste fino dos parâmetros causais.⁴³ (Wood e Spekkens, 2015, p.3)

Portanto, qualquer estrutura causal que explique as correlações entre as partículas no experimento de Bell contradiz a suposição de estabilidade. Wood e Spekkens consideram

43 “We demonstrate that any causal model that can hope to explain Bell-inequality-violating correlations (or even to explain Bell- nequality-satisfying correlations without recourse to hidden variables) has the feature that in order to explain the conditional independencies among the observed variables, in particular the no-signalling constraints, it must involve a fine-tuning of the causal parameters.” (Wood e Spekkens, 2015, p.3)

particularmente três tipos de explicações causais para o experimento de Bell: a causalidade superluminal, a retrocausalidade e o superdeterminismo. Ao avaliar essas explicações, os autores concluem que todas envolvem um ajuste fino dos parâmetros, além de serem excessivamente restritas, e que os parâmetros associados a elas devem ser ajustados para cada experimento particular realizado.

As explicações que consideram causalidade superluminal são baseadas na suposição de que, no experimento de Bell, existe uma influência causal de um evento em um laboratório com um evento no outro laboratório. A figura 2 mostra a estrutura causal que corresponde a essa hipótese. A notação usada é a mesma da teoria de modelos causais elaborada por Pearl (2009). O grafo representa de forma intuitiva as relações causais. Os nós representam as variáveis de interesse, que no caso da desigualdade de Bell são A, B, X, Y e a variável oculta λ . As arestas direcionadas indicam a direção da relação causal entre as variáveis. Note que a aresta que liga a variável X a variável B viola a noção de causalidade local, já que em um experimento de Bell a distância entre os laboratórios deve ser tal que impossibilite o envio de um sinal luminoso de um laboratório para o outro durante a realização do experimento. No caso mostrado na figura 2, a influência causal de X em B tem velocidade superior à da luz, o que viola o princípio da relatividade restrita.

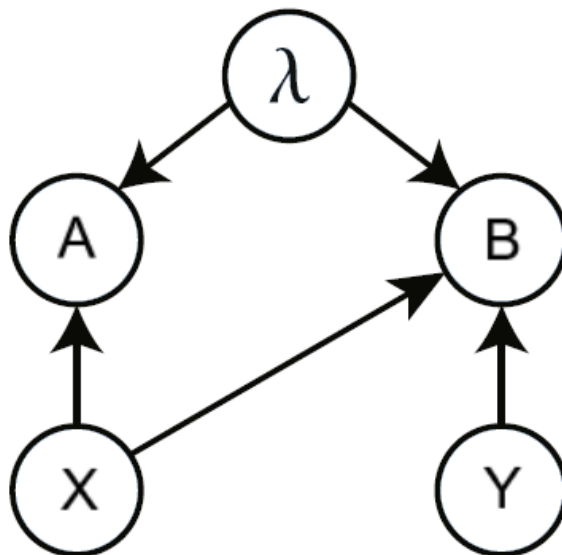


Figura 2: Estrutura causal correspondente à hipótese de causalidade superluminal.

A retrocausação é a possibilidade de influências causais se manifestarem em direção contrária à direção temporal. Essa solução preserva a condição de que as influências causais têm velocidade inferior à da luz. Cramer (1986), Price (2008) e Sutherland (2008) discutem a solução retrocausal para o teorema de Bell. A figura 3 mostra a estrutura de um modelo retrocausal. A aresta que liga a variável X à variável oculta λ implica em uma influência causal contrária à direção temporal, já que a λ precede o evento X .

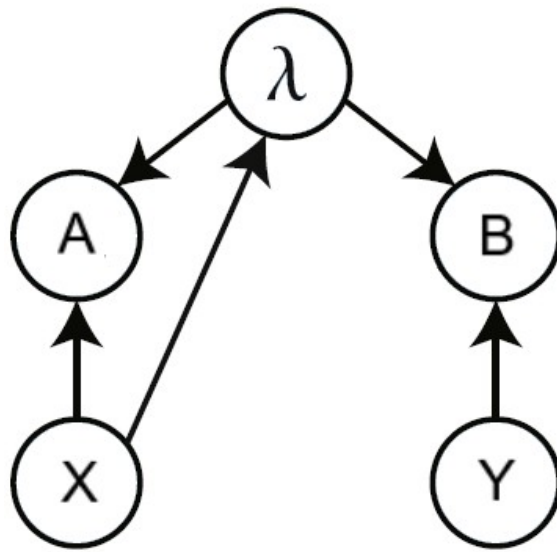


Figura 3: Estrutura causal correspondente à hipótese de retrocausação.

O superdeterminismo corresponde à violação da hipótese da independência das medições. Nessa solução, a variável oculta seria causa dos resultados das medidas (A e B), bem como das escolhas das grandezas físicas a serem medidas nas partículas. As escolhas das medidas são representadas pelas variáveis X e Y . Na figura 4 as arestas que ligam a variável oculta λ às variáveis X e Y indicam as relações causais que caracterizam a solução superdeterminista.

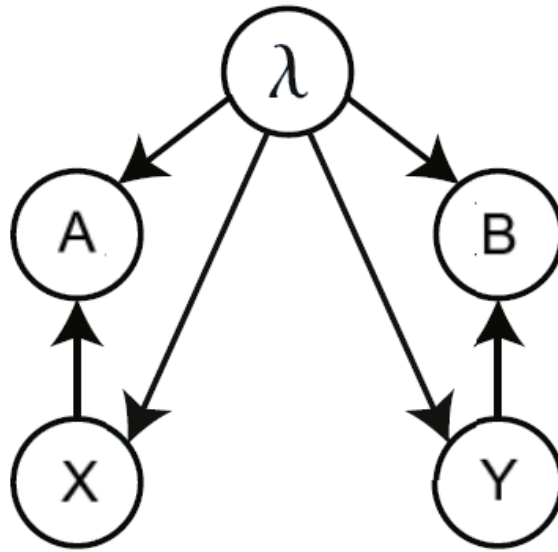


Figura 4: Estrutura causal correspondente à hipótese do superdeterminismo.

Wood e Spekkens mostram que as relações causais propostas nas três soluções não são suficientes para explicar as correlações observadas em um experimento de Bell. Além da estrutura causal, é necessário considerar que os parâmetros de cada solução assumam valores específicos para cada realização de um experimento de Bell. Segundo os autores:

A verdadeira inovação desta abordagem, no entanto, é que o princípio de não ajuste fino juntamente com as independências observadas também excluem o superdeterminismo e as influências retrocausais que não introduzem ciclos causais. Segue-se que todas as três principais abordagens para fornecer uma explicação causal das correlações de Bell, causas superluminais, superdeterminismo e influências retrocausais são insatisfatórias e todas insatisfatórias pela mesma razão. (Wood e Spekkens, 2015, p.3)⁴⁴

A conclusão de Wood e Spekkens está baseada na noção de causalidade defendida por J. Pearl (2009). Para Pearl, uma explicação causal deve estar submetida às condições de estabilidade e minimalidade. Portanto, a causação superluminal, a retrocausação e o superdeterminismo não forneceriam explicações causais satisfatórias pois violam a condição

44 “The real innovation of this approach, however, is that the no fine-tuning principle together with the observed independences also rule out superdeterminism and retrocausal influences that do not introduce causal cycles. It follows that all three of the main approaches for providing a causal explanation of Bell correlations, superluminal causes, superdeterminism and retrocausal influences, are unsatisfactory, and they are all unsatisfactory for the same reason.” (Wood e Spekkens, 2015, p.3)

de estabilidade. Apesar disso, uma parte significativa da comunidade científica especializada em fundamentos da mecânica quântica ainda considera que as três soluções não podem ser descartadas. No caso da solução superdeterminista, a realização de um experimento em 2018 por Abellán e mais de cem colaboradores, mostra que os físicos não desconsideraram a solução superdeterminista, ainda que ela implique na violação da condição de estabilidade. Na seção 1.6 abordamos o experimento de Abellán et al. (2018) em detalhes. De forma geral, os autores desse experimento pretendem assegurar a hipótese da independência das medições, ou seja, inviabilizar a solução superdeterminista. O experimento envolveu doze laboratórios em cinco continentes e mais de 100.000 voluntários. O grande número de cientistas envolvidos é um indício de que, apesar do resultado de Wood e Spekkens (2014), a comunidade científica especializada não ignora a solução superdeterminista.

As estruturas causais mostradas nas figuras 2, 3 e 4 violam explicitamente as hipóteses da causalidade local e da independência das medições, que são usadas no teorema de Bell. Assim, as estruturas das figuras 2 e 3 sugerem a adoção de noções de causalidade bem diferentes daquela considerada por Bell. Na estrutura da figura 2, as relações causais não obedeceriam a limites de velocidade e poderiam até mesmo produzir efeitos instantâneos à distância. No grafo da figura 3, as relações causais se dão no sentido contrário à seta do tempo, violando o princípio da assimetria causal. A causalidade local adotada por Bell na demonstração de seu teorema corresponde a uma noção mais comum de causalidade. A hipótese da independência das medições é abandonada na estrutura causal mostrada na figura 4. Essa solução, identificada como uma posição superdeterminista, implica na possibilidade de que a variável oculta seja a causa (não necessariamente determinista) das escolhas das grandezas físicas a serem medidas em um experimento de Bell. Nesse sentido, não há conflito entre a solução superdeterminista e a noção de causalidade local. Entretanto, como as grandezas físicas a serem medidas podem ser escolhidas por pessoas, como acontece no experimento de Abellán et al. (2018), a solução superdeterminista implica na negação de que uma escolha humana inicia uma série causal.

A estrutura causal que obedece às condições estabelecidas por Bell para o sistema de duas partículas emaranhadas é mostrada na figura 5.

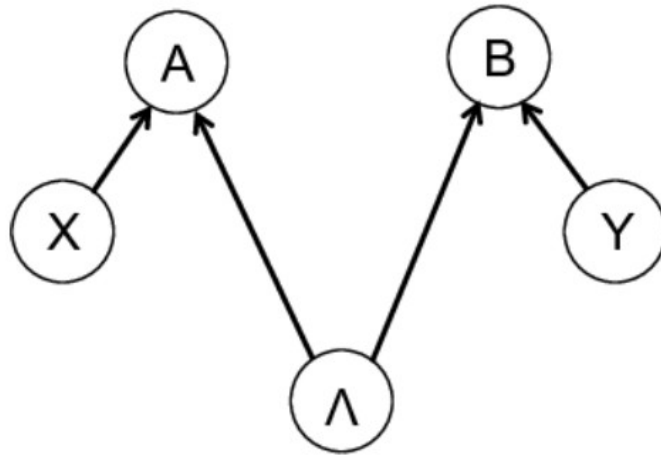


Figura 5: Estrutura causal correspondente às hipóteses de Bell

No grafo da figura 5, as correlações entre A e B poderiam ser explicadas pela variável oculta λ , que seria uma causa comum de A e B. A estrutura representa também a condição de causalidade local, pois, as causas da variável A são X e λ , enquanto as causas da variável B são Y e λ . Não há conexão causal entre variáveis associadas ao laboratório da partícula 1 e aquelas que correspondem ao laboratório da partícula 2. Por exemplo, uma aresta que ligasse a variável X à variável A violaria a condição de causalidade local. A condição de independência das medições é ilustrada pela ausência de setas ligando a variável oculta às variáveis X e Y. Nesse caso, as escolhas das grandezas físicas a serem medidas (que são representadas por X e Y) iniciariam uma série causal.

A estrutura mostrada na figura 5 não é capaz de explicar os resultados experimentais que mostram violações da desigualdade de Bell. As relações causais representadas nessa figura, implicam em distribuições de probabilidades que não correspondem aos resultados obtidos em experimentos que mostram a violação da desigualdade de Bell.

1.6 A HIPÓTESE DA INDEPENDÊNCIA DAS MEDIÇÕES E O LIVRE-ARBÍTRIO

Nas últimas linhas do artigo “The theory of local beables”, Bell (1976) enuncia a hipótese da independência da medição com a seguinte afirmação:

Assumiu-se aqui que as configurações dos instrumentos são, em certo sentido, variáveis livres, digamos ao capricho dos físicos experimentais, ou, em qualquer caso, não determinadas na sobreposição dos cones de luz passado. De fato, sem essa liberdade, eu não saberia formular nenhuma ideia de causalidade local, mesmo a modesta humana⁴⁵. (p. 61)

Matematicamente a hipótese da independência da medição é clara. Como foi mostrado na seção anterior, tal hipótese deve ser introduzida na dedução do teorema de Bell para assegurar a igualdade $P(\lambda|X,Y) = P(\lambda)$. Entretanto, as condições experimentais que correspondem à adoção dessa hipótese não são evidentes. Rigorosamente, para estabelecer tais condições experimentais deve-se garantir que as grandezas físicas (representadas pelas variáveis X e Y) a serem medidas sejam independentes de qualquer fator causal comum. Em outras palavras, os dois eventos que determinam as grandezas físicas a serem medidas concernentes a P1 e P2 não devem ser relacionados através de uma causa comum. Essa condição se estende a todo passado causal dos dois eventos. A dificuldade imposta pela extensão temporal da hipótese da independência da medição foi apontada por Shimony, Horne, & Clauser (1976).

Afinal, os cones de luz passado desses dois atos acabam se sobrepondo, e pode-se imaginar uma região que controla a decisão dos dois físicos experimentais que escolheram a e b [X e Y]. Não podemos negar essa possibilidade. Mas sentimos que é errado, por motivos metodológicos, nos preocupar seriamente com isso, se nenhuma ligação causal específica for proposta.⁴⁶. (p.101)

A figura 6 mostra uma representação dos cones de luz do passado se sobrepondo. A apresentação dos cones de luz é feita em um diagrama no qual o eixo y corresponde ao tempo e o eixo x ao espaço. Os eventos que acontecem em um instante t e em uma posição x são representados por pontos no diagrama (como os eventos X, Y, C e D). Cortes transversais dos cones de luz do passado são associados aos eventos X e Y. Um ponto no interior do cone de luz passado de X, como o ponto D mostrado na figura, representa um evento que pode ser

45 “It has been assumed here that the settings of instruments are in some sense free variables, say at the whim of the experimenters, or in any case not determined in the overlap of the backward light cones. Indeed, without such freedom I would not know how to formulate any idea of local causality, even the modest human one.” (Bell, 2004, p. 61)

46 “After all, the backward light cones of those two acts do eventually overlap, and one can imagine one region which controls the decision of the two experimenters who chose a and b. We cannot deny such a possibility. But we feel that it is wrong on methodological grounds to worry seriously about it if no specific causal linkage is proposed.” (Shimony, Horne, & Clauser, 1976, p. 101)

causa de X. Por outro lado, pontos que estão fora do cone de luz passado de X, como o ponto C, representam eventos que não podem causar X. De acordo com a relatividade restrita, a fronteira que determina a influência causal passada de X é estabelecida pela velocidade da luz, que limita a possibilidade de interação entre dois eventos. Um evento esteja na região de interseção entre o cone de luz passado de X e o cone de Y é ilustrada na figura pelo ponto D. Nesse caso, o evento D poderia ser causa comum de X e Y, pois pertence ao passado causal de ambos.

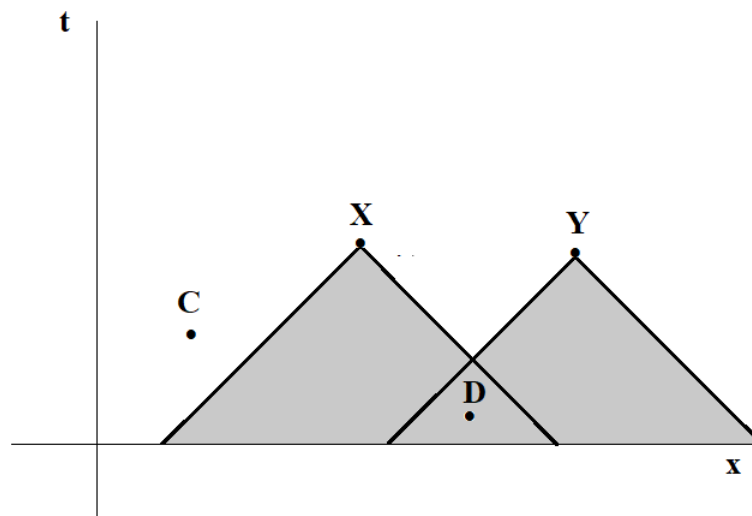


Figura 6: Representação dos cones de luz passado dos eventos X e Y.

Apesar de reconhecer a dificuldade imposta pela hipótese da independência da medição, Shimony, Horne e Clauser minimizam suas implicações. Eles assumem um tamanho grau de ceticismo sobre a possibilidade de que variáveis aleatórias sejam consideradas livres, uma vez que isso implicaria para eles no descarte de todas as teorias científicas. Esse argumento está baseado na ideia de que os testes randômicos são essenciais para a verificação de teorias científicas. Como um teste randômico depende essencialmente de que as variáveis aleatórias sejam de fato livres, se tal liberdade for colocada em cheque, as conclusões baseadas em testes randômicos também estariam ameaçadas.

Convém notar que, tanto os argumentos de Bell (1976) quanto os argumentos de Shimony, Horne, & Clauser (1976) sugerem que a hipótese da independência das medições estaria em última instância assegurada pelo livre-arbítrio humano. Apesar de sugerir tacitamente, em seu artigo de 1976, que a hipótese metafísica do livre-arbítrio seria necessária na dedução do teorema, Bell reconsidera sua posição em 1977. O artigo “Free variables and local causality” (Bell, 1977) foi publicado em resposta às críticas apresentadas por Shimony, Horne, & Clauser (1976). Nesse artigo Bell tenta apresentar uma versão mais fraca para a hipótese da independência das medições. Ele afirma que as variáveis X e Y devem ser “pelo menos efetivamente livres para o objetivo em questão”. Assim, Bell defende que geradores de números aleatórios seriam mecanismos capazes de selecionar, de forma efetivamente livre, as grandezas físicas representadas pelas variáveis X e Y. A relação entre o livre-arbítrio e a hipótese da independência da medição do teorema de Bell ainda é um tema relevante no debate contemporâneo sobre os fundamentos da teoria quântica.

Desde a publicação da primeira versão do teorema, em 1964, até os dias de hoje inúmeros resultados experimentais em que houve violação da desigualdade de Bell foram reportados. Para realizar um experimento de violação da desigualdade de Bell é necessário que sejam cumpridas certas condições técnicas como a rapidez e a eficiência dos detectores e permanência de estados emaranhados que mantêm sua coerência mesmo quando separados a grandes distâncias. Os primeiros experimentos foram realizados na década de 1980 (Aspect et al., 1982a e 1982b; Ou & Mandel, 1988) e mostram concordância com a teoria quântica, mas não foram capazes de garantir as pré-condições necessárias para os testes. Nesses casos, o objetivo do teste de Bell não foi atingido, pois os mesmos resultados experimentais podem ser explicados por teorias clássicas de variáveis ocultas locais. Essas circunstâncias de condições experimentais incompletas são conhecidas na literatura como “*loopholes*”. Existem diferentes tipos de “*loopholes*”, a maioria deles está relacionada a questões técnicas. Recentemente, foram propostos experimentos (Hensen et al., 2015; Giustina et al., 2015; e Shalm et al., 2015) em que as condições para a superação dos *loopholes* técnicos foram alcançadas. Parte da comunidade científica especializada nesta área considera que os experimentos publicados em 2015 atestam de forma definitiva a incompatibilidade entre a causalidade local e as previsões da mecânica quântica⁴⁷. Entretanto, o *loophole* associado à

47 Pode-se verificar que esta posição é adotada por Genovese et al. (2019) e em muitos artigos que citam, por exemplo, o trabalho de Hensen et al. (2015). Até essa data, o artigo de Hensen et al. (2015) possui mais de 1500 citações.

dificuldade de se assegurar a hipótese da independência da medição ainda fomenta discussões sobre o caráter definitivo dos experimentos livres de *loophole* realizados em 2015. Conhecido como *loophole* da independência das medições (*measurement independence loophole*) ou *loophole* da liberdade de escolha (*freedom-of-choice loophole*), essa possível lacuna em experimentos que verificam violação da desigualdade de Bell não é de natureza exclusivamente técnica. Ela está no centro do debate com contornos metafísicos travado na década de 1970 (Bell, 1976; Shimony et al., 1976 e Bell, 1977). Nos experimentos livres de *loophole*, realizados em 2015, assim com em outros experimentos anteriores (Fürst et al., 2010; Scheidla et al., 2010), a independência entre a variável oculta e as grandezas físicas representadas por X e Y seria assegurada por um mecanismo gerador de números aleatórios. Os números aleatórios, gerados de forma suficientemente confiável, são associados aos valores das variáveis X e Y. Desse modo, as grandezas físicas correspondentes a X e a Y seriam aleatoriamente escolhidas.

No entanto, em termos clássicos, podemos dizer que os randomizadores (geradores de números aleatórios) por serem dispositivos físicos possuem necessariamente um passado causal. Consequentemente, as grandezas físicas correspondentes a X e a Y possuem um passado causal comum. Em outras palavras, podemos dizer que os cones de luz passados relativos aos eventos de escolha das grandezas associadas a X e Y se sobrepõem. O fato desses eventos possuírem um passado causal em comum, nos permite assumir que uma variável oculta pode ser uma causa comum de X e Y. Ainda que a causa comum esteja em um passado muito distante, ignorar essa possibilidade seria assumir, segundo Brans (1988), que “o teorema de Bell se aplica apenas a um universo híbrido no qual variáveis ocultas determinam apenas parte dos resultados das experiências”. Isso significa que variáveis ocultas determinariam os resultados mensuráveis (A e B), mas não as grandezas a serem medidas (X e Y).

As objeções à possibilidade de implementação da hipótese da independência da medição, relativas ao passado causal comum de X e Y, já estavam presentes no debate entre Bell e Shimony, Horne, & Clauser. Entretanto, os argumentos de Bell não foram suficientes para solucionar o problema. Diversos grupos experimentais empreenderam esforços para fechar o *loophole* da independência das medições. Scheidla et al. (2010) e Shalm et al. (2015) afirmam que alcançaram o objetivo ao garantir que as escolhas associadas a X e Y sejam separadas espaço-temporalmente do evento de criação das partículas. Eles assumem que a

variável oculta (λ) é criada com o par emaranhado de partículas. Portanto, a separação espacial entre o evento de criação do par de partículas e as escolhas das grandezas a serem medidas garantiria a independência estatística entre X e Y , de um lado, e λ , de outro. A suposição de que λ é gerada junto com as partículas emaranhadas é uma suposição forte sobre variáveis ocultas. Além disso, ela é também uma suposição adicional que não é considerada na derivação da desigualdade de Bell. Essa hipótese adicional impõe um tipo de restrição aos experimentos e faz com que eles deixem de ser casos de violações das desigualdades de Bell de maneira geral. Tais experimentos apontam para a incompatibilidade entre as previsões da mecânica quântica e teorias de variáveis ocultas muito específicas, ou seja, aquelas que assumem que λ é gerada apenas em um momento particular.

Há também tentativas de restringir o *loophole* da independência das medições restringindo o volume do espaço-tempo disponível para a causa comum λ . Nessas tentativas, a possível relação causal entre eventos de escolha das grandezas a serem medidas (representadas por X e Y) e a variável oculta (λ) poderia ter ocorrido apenas em um passado muito remoto (Rauch et al., 2018; Handsteiner et al., 2017). Isso é feito através de configurações experimentais que permitem que as escolhas das grandezas a serem medidas (os valores de X e Y), sejam feitas através de graus de liberdade de fótons emitidos por estrelas distantes. Dessa maneira, o experimento “empurra, consideravelmente, a origem das escolhas das grandezas a serem medidas para as profundezas da história cósmica” (Rauch et al., 2018, p.2). Segundo Rauch et al. (2018), apenas 4% do volume espaço-temporal é deixado disponível para que seja estabelecida uma possível relação causal entre as variáveis X, Y , e λ .

Apesar de todas as dificuldades técnicas envolvidas na realização desses experimentos, eles não são capazes de evitar as objeções de que a variável oculta λ pode estar contida no passado causal das escolhas das grandezas a serem medidas. Isso se deve a um mecanismo comum a esses experimentos: as definições das grandezas a serem medidas são feitas através de fenômenos físicos, como o funcionamento de geradores de números aleatórios ou radiações emitidas por estrelas distantes. Como fenômenos físicos, eles estão submetidos à causalidade e, portanto, possuem, cada um, um passado causal. Existe uma região de interseção entre os passados causais dos fenômenos que definem as grandezas representadas por X e por Y . Rigorosamente, não podemos excluir a possibilidade de que a variável oculta λ pertença ao passado causal comum de X e Y . Assim, não é possível afirmar

que o *loophole* da independência das medições é resolvido em testes de Bell que usam fenômenos físicos nas definições de X e Y.

1.7 TESTE DE BELL COM ESCOLHAS HUMANAS

Em 2018, Abellán e colaboradores apresentam os resultados de um teste de Bell em um experimento em que as escolhas das grandezas físicas a serem medidas (representadas pelas variáveis X e Y) foram realizadas por um grupo de pessoas. Os autores implementam nesse experimento a proposta aventada por Bell (1976) de que as escolhas humanas assegurariam, em última instância, a independência estatística entre a variável oculta λ e as variáveis X e Y. O artigo intitulado “Challenging local realism with human choices” reporta os resultados de uma ampla colaboração que envolveu doze laboratórios em cinco continentes. Uma parte significativa da comunidade científica especializada na área de correlações quânticas esteve envolvida nesse trabalho e mais de cem autores assinaram o artigo. Pela primeira vez, as escolhas humanas de cerca de 100.000 voluntários foram usadas para selecionar as grandezas físicas a serem medidas em um teste de Bell.

Segundo Abellán e colaboradores, nos experimentos anteriores, assumiu-se que os sistemas físicos usados para definir as grandezas a serem medidas seriam livres da influência da variável oculta. Eles, contudo, consideram que “enquanto ainda se exige essa suposição sobre os sistemas físicos, portanto, não solucionando o *loophole* da independência das medições, essas estratégias apenas estreitam o *loophole* de várias maneiras”⁴⁸. Portanto, ainda que implicitamente, Abellán et al. (2018) assumem duas suposições fortes: i) como todo fenômeno físico tem um passado causal, não se pode garantir que λ não lhe pertença; e ii) a variável oculta λ não é causa das escolhas humanas, pois elas são a única alternativa para se fechar o *loophole* da independência das medições. Portanto, as escolhas humanas não estão submetidas às mesmas regras causais dos fenômenos físicos. Ao defender que a hipótese do livre-arbítrio é a única maneira de solucionar o *loophole* da independência das medições, Abellán et al. (2018) introduzem implicitamente em sua abordagem a causalidade pela liberdade. Um tipo de causalidade que não pode ser assimilada pela cadeia causal natural (causalidade natural). Eles admitem tacitamente que eventos físicos podem ser causados por

48 “While still requiring a physical assumption, and thus not closing the FOCL, this strategy tightens the loophole in various ways.” (Abellán et al., 2018)

causas naturais ou pela liberdade humana. No primeiro caso, o efeito tem uma causa que foi causada por outra causa. No segundo caso, o efeito tem uma causa que não foi causada por nenhuma causa empírica e, nesse sentido, pode-se dizer que essa causa é livre. Assim, de acordo com essa visão, a variável λ pode ser considerada como uma possível causa de qualquer evento físico, por exemplo, no funcionamento de geradores de números aleatórios, na emissão de fótons em estrelas, etc. Entretanto, a variável oculta λ não é uma causa das escolhas humanas. Essa tese filosófica foi admitida por Bell e por Abellán et al. (2018) como sendo suficiente para solucionar o *loophole* da independência da medição e, assim, garantir as condições de validade do teorema de Bell. Nesse ponto, fica claro que a expectativa inicial de que o teorema de Bell poderia transformar o debate filosófico entre Einstein e Bohr sobre a incompletude da teoria quântica em uma investigação puramente experimental não foi realizada.

A suposição de que as escolhas humanas não estão submetidas à causalidade natural não é enunciada explicitamente por Abellán et al. (2018). Ela parece excessivamente metafísica aos olhos dos físicos. Uma crítica a esse caráter metafísico foi feita por Shimony, Horne, & Clauser (1976) ao afirmarem que Bell (1976) justifica a hipóteses da independência da medição “filiando-se a uma metafísica que não foi provada e que pode muito bem ser falsa”⁴⁹. Se, por um lado, Abellán et al. (2018) revelam uma aparente insegurança para endossar essa hipótese metafísica, por outro lado, eles mostram sua confiança na hipótese ao empreender um enorme esforço para realizar uma tarefa experimental tão complexa quanto o teste de Bell com escolhas humanas. A liberdade humana aparece, no debate contemporâneo acerca da desigualdade de Bell, como última alternativa para realizar um teste de Bell completamente livre de *loopholes*. Na conclusão de seu artigo, Brans (1988) resume essa curiosa relação entre a liberdade e a mecânica quântica.

Diz-se às vezes que a teoria quântica preserva o livre-arbítrio. No contexto deste artigo, isso pode ser revertido, de forma que o livre-arbítrio preserve a teoria quântica, pelo menos no sentido de eliminar alternativas de variáveis ocultas.⁵⁰ (p. 225)

49 “by relying on a metaphysics which has not been proved and which may well be false” (Shimony et al. (1976), conforme citado por Bell, 1977, p.101)

50 “It is sometimes said that quantum theory saves free will. In the context of this paper, this might be reversed, so that free will saves quantum theory, at least in the sense of eliminating hidden variable alternatives. (Cf. Brans, 1988, p. 225)

No próximo capítulo, analisaremos argumentos filosóficos que possam dar suporte à hipótese de que o livre-arbítrio garantiria a independência das medições em um experimento de Bell. Nossa ênfase recairá sobre os argumentos favoráveis à liberdade do agente.

2 O PROBLEMA DO LIVRE-ARBÍTRIO E A HIPÓTESE DA LIBERDADE DE ESCOLHA NOS EXPERIMENTOS DE BELL

Ao introduzir a ideia de livre-arbítrio como uma possível solução para o *loophole* da independência das medições, nem Bell nem os defensores dessa tese especificam qual tipo de liberdade seria necessária para cumprir esse papel. Existem várias teorias que defendem a ideia de que o ser humano possui a capacidade de agir livremente. Entretanto, a noção de liberdade não é a mesma em todas elas. Neste capítulo faremos uma abordagem geral sobre o problema do livre-arbítrio e suas soluções. Buscaremos analisar o conceito de liberdade associado às principais teorias contemporâneas do livre-arbítrio e a adequação dessas teorias para assegurar a condição da independência das medições.

2.1 O PROBLEMA DO LIVRE-ARBÍTRIO

Em linhas gerais, pode-se afirmar que a ideia de livre-arbítrio se baseia em duas premissas. A primeira se refere à capacidade do ser humano para agir livremente: ele deve ser a fonte de suas escolhas e ações. A segunda diz respeito às alternativas existentes no mundo oferecidas ao ser humano: devem existir possibilidades alternativas para as suas escolhas. Objeções a essas premissas estão na origem do chamado problema do livre-arbítrio. Alguns autores (Strawson, 1962; Kane, 2002; Nagel, 1986) consideram que tal problema surge quando reconhecemos o conflito entre duas perspectivas acerca da relação entre o ser humano e seu entorno: uma subjetiva e prática e a outra objetiva e teórica.

Sob a perspectiva subjetiva e prática, adotamos as premissas associadas ao livre-arbítrio. Nos concebemos como fonte única de nossas escolhas e ações e assumimos que possibilidades alternativas no mundo estão disponíveis na prática. Assim, nossas escolhas e ações são consideradas como contingentes. Uma escolha feita sob determinadas condições poderia ser outra, ainda que estivéssemos submetidos às mesmas condições. Nessa perspectiva subjetiva, as condições para o livre-arbítrio são atendidas e as duas premissas são preservadas.

Em contrapartida, sob a perspectiva objetiva e teórica, consideramos que todos os eventos são determinados por condições passadas e por leis teórico-objetivas do mundo sobre

as quais não temos controle. Nessa perspectiva, assume-se que as escolhas e ações humanas são eventos e, como tais, são consequências de leis e condições passadas incontrolláveis. Essa visão, aparentemente incompatível com as premissas do livre-arbítrio, tornaria a liberdade ilusória.

O conflito entre as perspectivas subjetiva e objetiva sobre o livre-arbítrio foi tratado na história da filosofia de maneiras muito distintas: desde as questões medievais sobre a possibilidade do livre-arbítrio humano face ao livre-arbítrio divino (Agostinho, 1995) aos estudos contemporâneos sobre a relação entre as configurações genéticas e comportamento humano (Cf. Kane, 2005). Um aspecto comum entre as diversas concepções que ameaçam, de forma mais óbvia, a ideia de livre-arbítrio é a determinação dos eventos futuros através de condições necessárias.

Nas teologias monoteístas a doutrina da providência e da onisciência divina estabelecem, à primeira vista, condições suficientes para a determinação de eventos futuros (Cf. Zagzebski, 2002). A doutrina da providência afirma que tudo ocorre segundo a vontade divina. Assim o ser humano não seria livre pois não controlaria suas escolhas e ações. A doutrina da onisciência implicaria que os eventos futuros estariam definidos, pois seriam previamente conhecidos por Deus. Não haveria, portanto, possibilidade de escolhas e ações livres. Em seu tratado sobre o livre-arbítrio, Agostinho (1995) tenta resolver a aparente incompatibilidade entre o livre-arbítrio humano e as doutrinas da providência e da onisciência divina. A solução desse problema é essencial para sua abordagem sobre o problema do mal. Se o ser humano não fosse dotado de livre-arbítrio, Deus seria responsável por todos os eventos e conseqüentemente seria responsável pelo mal no mundo.

As doutrinas da providência e da onisciência divina podem implicar em uma visão fatalista. Segundo Bernstein (2002), o fatalismo é a tese de que “tudo o que acontece deve acontecer; todo evento ou estado de coisas que ocorre deve ocorrer”. Nesse sentido, seríamos incapazes de alterar o curso dos acontecimentos. As teses fatalistas não são restritas ao contexto teológico, podem ser igualmente articuladas através de leis da lógica e princípios metafísicos (Cf. Rice, 2018).

O enunciado “tudo o que acontece deve acontecer” também pode ser vinculado ao determinismo. A necessidade contida nas teses deterministas se deve às leis naturais e às causas antecedentes, ao passo que nas teses fatalistas não há restrições dessa natureza. Segundo Bernstein (2002, p. 69), o fatalismo é uma tese geral em que os acontecimentos

seriam “metafisicamente predestinados”. A necessidade pode ser baseada em princípios metafísicos quaisquer. Dessa forma, o determinismo seria compatível com o fatalismo quando os princípios metafísicos correspondem à causalidade determinista.

Sobel (1998) apresenta uma análise extensa sobre as diversas possibilidades de determinismo, identificando noventa variedades. Entretanto, a tese de que todos os eventos (incluindo as escolhas e ações humanas) são determinados é comum a todas as variedades (Kane, 2002, p.6). A tese central das diversas formas de determinismo, à primeira vista, parece incompatível com os princípios gerais do livre-arbítrio. A determinação de todos os eventos seria um empecilho à ideia de que existem possibilidades alternativas e, simultaneamente, comprometeria a tese de que o ser humano é fonte de suas escolhas e ações.

A incompatibilidade entre o determinismo e o livre-arbítrio não é consensual entre os filósofos. A princípio duas posições são possíveis para o problema: a compatibilista e a incompatibilista. Os defensores da primeira argumentam a favor da compatibilidade entre o determinismo e o livre-arbítrio da vontade humana, enquanto os adeptos da segunda defendem o contrário. Nesse sentido, consideremos as afirmações:

- 1) Todo evento é determinado; e
- 2) Escolhas e ações humanas são livres.

Os incompatibilistas negam que ambas sejam simultaneamente verdadeiras. Portanto, a posição incompatibilista pode tanto, na direção do determinismo, afirmar que a primeira é verdadeira, e a segunda falsa, quanto, na direção da liberdade de escolha, afirmar a veracidade da segunda em detrimento da primeira. Os incompatibilistas que defendem o livre-arbítrio são conhecidos como libertarianistas. A posição contrária é chamada de “determinismo rígido” (*hard determinism*).

O desenvolvimento das ciências naturais contribuiu de forma ambígua para a controvérsia entre o determinismo e o livre-arbítrio. Por um lado, a física contemporânea, especialmente a mecânica quântica, coloca em cheque a adequação das teses deterministas (como foi aqui discutido no primeiro capítulo). Essa dificuldade imposta pela mecânica quântica poderia ser interpretada como favorável às teses libertarianistas. Por outro lado, os avanços da biologia, neurociência, psicologia, psiquiatria, ciências sociais e do comportamento apontam para a conclusão de que nossas escolhas são determinadas por causas desconhecidas e para além de nosso controle (Cf. Kane, 2002, p.9). Esses resultados estariam em contradição com os princípios do livre-arbítrio.

A controvérsia entre compatibilistas e incompatibilistas é um tema ainda presente na filosofia contemporânea. Faremos uma breve exposição dessas posições.

2.2 AS TEORIAS DA AGÊNCIA E O *LOOPHOLE* DA INDEPENDÊNCIA DAS MEDIÇÕES

A dicotomia entre o determinismo e a liberdade resultou na oposição entre compatibilismo e incompatibilismo. Entretanto, a negação do determinismo não implica na existência do livre-arbítrio, mas na negação da tese de que as condições passadas e as leis da natureza definem exatamente o mesmo futuro ou a afirmação da antítese de que futuros alternativos são possíveis com as mesmas condições passadas e leis da natureza. Nesse sentido, mesmo que o determinismo não seja válido, permanece ainda a dificuldade de se conciliar livre-arbítrio e indeterminismo. Em um mundo indeterminista, todos os eventos são processos aleatórios. Dessa forma, as decisões dos agentes seriam aleatórias, e os agentes não seriam a fonte de suas escolhas e ações. Assim, o debate acerca do livre-arbítrio deve ser ampliado e a oposição entre *determinismo e liberdade* deve ser substituída pela oposição entre *determinismo/indeterminismo e liberdade*. Segundo Robert Hanna (2006, p. 418), uma versão mais ampla do problema do livre-arbítrio seria constituída não pela oposição entre liberdade e determinismo, mas pela oposição entre liberdade e mecanismo natural, que incluiria tanto o determinismo quanto o indeterminismo da natureza. Ele chama de “mecanismo natural” a disjunção entre determinismo rígido e indeterminismo rígido.

Sob essa perspectiva ampliada do debate, o compatibilismo e as teorias libertarianistas deveriam garantir a possibilidade da liberdade em um mundo regido pelo mecanismo natural, mesmo sendo ele de tipo indeterminista. Visto dessa forma, o paralelo entre o problema do livre-arbítrio e o *loophole* da independência das medições torna-se mais claro. Em ambos os casos, a liberdade do agente é ameaçada pelo mecanismo natural. No caso das escolhas das medições em um experimento de Bell, as teorias de variáveis ocultas deterministas e estocásticas criam dificuldades para a hipótese de que as escolhas das direções sejam feitas por agentes livres. Como foi discutido no Capítulo 1, as teorias de variáveis ocultas supõem

que os fenômenos são governados por relações causais, que podem ser deterministas (em teorias de variáveis ocultas deterministas) ou indeterministas (em teorias de variáveis ocultas estocásticas). Assim, a escolha das direções das medições poderia sofrer a influência causal determinista ou indeterminista das variáveis ocultas. A negação do determinismo também não é suficiente para garantir a liberdade nas escolhas das direções das medições em um experimento de Bell.

Apesar do paralelo entre o problema do livre-arbítrio e o *loophole* da independência das medições, não são todas as soluções que defendem a preservação da liberdade em oposição ao mecanismo natural que também podem ser aplicadas ao *loophole* da independência das medições. Para melhor entendimento da relação entre os dois problemas, consideremos suas semelhanças e diferenças.

Como mencionado anteriormente, as duas premissas ou pilares básicos da ideia de livre-arbítrio são: (i) o agente deve ser fonte de suas escolhas e ações, (ii) devem existir possibilidades alternativas para as escolhas dos agentes. Podemos afirmar que o tipo de atuação do agente capaz de solucionar o *loophole* da independência das medições também está apoiado sobre esses dois pilares?

Na construção do conceito de livre-arbítrio, a primeira premissa está diretamente associada à responsabilidade moral. Se o agente é a fonte de suas escolhas e ações, então ele pode ser responsabilizado por uma eventual violação da regra moral. O *loophole* da independência das medições não tem qualquer relação com as condições para constituição de responsabilidade moral. O agente poderia escolher as direções das medições de forma aleatória, sem assumir a responsabilidade por suas ações, e ainda assim solucionar o *loophole* da independência das medições. Assim, a primeira premissa não é condição necessária para a solução deste *loophole*. Entretanto, se a escolha aleatória do agente for produzida por uma causa probabilística (ou determinista), ela não solucionaria o *loophole*. Nesse caso, poderíamos supor que a variável oculta pertence a cadeia causal que culmina na escolha do agente, ainda que as relações causais envolvidas nesse processo sejam governadas por leis indeterministas. Portanto, apesar de não ser uma condição necessária, a primeira premissa é uma condição suficiente para a solução do *loophole* quando implica na afirmação de que a decisão do agente é livre da influência do mecanismo natural.

A segunda premissa é a negação da tese determinista rígida. A negação da tese determinista rígida é necessária não só para a solução do *loophole*, mas também para a própria elaboração da condição de independência da medição. Em um mundo em que todos os eventos são determinados não há independência estatística. O evento inicial é a causa comum que correlaciona todos os eventos futuros.

Diversas soluções foram propostas na história da filosofia para a aparente incompatibilidade entre o mecanismo natural e o livre-arbítrio. Entretanto, nem todas são adequadas para resolver o *loophole* da independência das medições. Analisemos a seguir os grupos de soluções propostos para solucionar o problema do livre-arbítrio, e sua adequação para o *loophole* da independência das medições. Iniciaremos com as teses compatibilistas e em seguida analisaremos as teses libertarianistas.

2.3 A SOLUÇÃO COMPATIBILISTA

Para os compatibilistas não haveria conflito entre o determinismo e o livre-arbítrio. Sendo assim, sob essa perspectiva, o problema do livre-arbítrio seria dissolvido. Segundo Kane (2002, p.10):

a ideia de que o livre-arbítrio e o determinismo são compatíveis continua a ser uma visão majoritária entre filósofos e cientistas, porque parece oferecer uma solução simples do conflito entre as visões comuns do comportamento humano do ponto de vista prático e as imagens teóricas dos seres humanos nas ciências naturais e sociais.⁵¹

As teses compatibilistas são formuladas com base no significado da liberdade dos agentes e são mais próximas do senso comum. Tradicionalmente, os compatibilistas assumem que um agente livre possui a capacidade de agir segundo seus desejos, inclinações ou escolhas. Portanto, ele não deve estar submetido a restrições ou impedimentos que o impossibilitem de agir de acordo com seus desejos ou escolhas. O conjunto de teses baseadas nessa visão de liberdade é classificado como “compatibilismo clássico” por Gary Watson (1975). Filósofos modernos como Thomas Hobbes e David Hume e filósofos contemporâneos

51 “The idea that free will and determinism are compatible continues to be a majority view among philosophers and scientists because it seems to offer a simple resolution of the conflict between ordinary views of human behavior from a practical standpoint and theoretical images of human beings in the natural and social sciences” (Kane, 2002, p.10).

como Moritz Schlick e Donald Davidson são classificados como compatibilistas clássicos (Cf. Kane, 2002, p. 13).

No compatibilismo clássico, a ideia de liberdade deve ser restrita apenas à liberdade de agir. Seria um erro pensar na liberdade como capacidade de controlar impulsos e desejos. Assim, a liberdade segundo os compatibilistas clássicos possui aspectos positivo e negativo. O aspecto positivo é a atribuição de capacidade ao agente de agir de acordo com seus desejos, inclinações ou escolhas. O aspecto negativo é a ausência de restrições, coerções ou impedimentos que impossibilitem a ação. Entretanto, segundo McKenna (2016, p. 51), a concepção de liberdade dos compatibilistas clássicos é frequentemente caracterizada como apenas negativa. De acordo com essa caracterização, a liberdade possui um caráter positivo quando corresponde à capacidade de controlar os desejos e inclinações.

A concepção de liberdade dos compatibilistas clássicos é bem caracterizada através das definições de “liberdade da indiferença” e “liberdade da espontaneidade”. A primeira estabelece que há uma independência causal entre as escolhas e ações do agente e seus desejos e inclinações. Nesse sentido, pode-se atribuir liberdade ao arbítrio e não apenas às ações. Por outro lado, a liberdade da espontaneidade é menos restritiva. Ela corresponde à capacidade de agir sem restrições ou impedimentos externos. Esse conceito de liberdade é compatível com a existência de relações causais em que as ações são efeitos e os desejos e inclinações são suas causas. Naturalmente, a concepção de liberdade dos compatibilistas clássicos se identifica com a liberdade da espontaneidade.

Além de formular uma definição adequada para a liberdade, o compatibilismo clássico deve fornecer uma resposta para a questão da existência de possibilidades alternativas. De acordo com os compatibilistas clássicos a liberdade dos agentes possui um caráter hipotético. Como a liberdade é definida através da ausência de restrições ou impedimentos para as escolhas e ações, os agentes têm a possibilidade de escolher ou agir de uma certa forma. Mas isso não significa que eles de fato agirão ou escolherão dessa forma. Os compatibilistas clássicos defendem, portanto, que a liberdade, assim interpretada, não representa uma ameaça para o determinismo. A compatibilidade é possível na medida em que o determinismo admite que condições passadas diferentes (incluindo desejos e inclinações) se desdobrariam em eventos futuros distintos. Portanto, o agente poderia agir de forma diferente se ele assim desejasse, embora o seu desejo fosse ele mesmo determinado por condições passadas.

Nesse sentido, para os compatibilistas clássicos, a possibilidade de fazer o contrário deve ser concedida ao agente para que ele seja considerado livre. Compatibilistas e incompatibilistas clássicos concordam que a existência de possibilidades alternativas é uma condição necessária para a atribuição de responsabilidade moral. Entretanto, os compatibilistas contemporâneos discordam dessa posição. Dois tipos de contraexemplos à posição dos compatibilistas clássicos se destacam: os que evocam o caráter do agente e aqueles nomeados como exemplos de Frankfurt.

Um contraexemplo do primeiro tipo nos é apresentado por Daniel Dennett (1984), referindo-se à citação de Martinho Lutero: “Aqui estou e não posso fazer o contrário”. Lutero teria feito essa afirmação, em 1521, perante o imperador Carlos V na cidade de Worms, após romper definitivamente com a igreja católica. Segundo Dennett, ainda que a afirmação de Lutero seja tomada literalmente, ou seja, que acreditemos que suas ações foram causadas de forma determinista por seu caráter, ele não seria eximido de sua responsabilidade moral. O agente só poder ser responsabilizado por suas ações se elas são determinadas por seu caráter. Não seria sensato punir um agente por violar uma regra moral se sua ação for o resultado de um processo aleatório que não possui vínculo causal com o próprio agente. Nesse sentido, a causalidade determinista seria não apenas compatível, mas também necessária para a atribuição de responsabilidade moral. Quanto a isso estão de acordo compatibilistas clássicos e contemporâneos. Entretanto, para os defensores do argumento dos exemplos de caráter, essa relação entre responsabilidade moral e determinismo é válida mesmo que não haja possibilidades alternativas, como é sugerido na afirmação de Lutero “não posso fazer o contrário”.

Opositores a esse tipo de contraexemplo, no entanto, argumentam que a análise de atos individuais não pode implicar em tal conclusão geral. Seria necessária uma análise ampla, considerando o comportamento do agente em todas as situações anteriores, pois poderíamos supor que durante a construção do seu caráter, o agente teria vivenciado situações em que alternativas possíveis existiam. Assim, seu caráter teria sido formado por uma sucessão de decisões que poderiam ter sido diferentes. A existência de alternativas possíveis contribuiu para a formação do caráter do agente, permitindo assim o julgamento moral de suas ações posteriores quando o caráter já estaria formado. Apenas ações posteriores à formação do caráter não admitiriam alternativas possíveis e seriam determinadas pelo caráter formado.

Os exemplos de Frankfurt são assim nomeados em referência a Harry Frankfurt (1969), considerado o pioneiro desse tipo de análise. Eles pretendem preencher a lacuna deixada pelos exemplos de caráter. Eles visam proporcionar um argumento de maior amplitude que compreendesse e servisse de base para uma análise de todas as ações realizadas ao longo da vida do agente, sejam elas anteriores ou posteriores à formação do caráter. Kane (2002) descreve assim um típico exemplo de Frankfurt:

Exemplos do tipo Frankfurt geralmente envolvem um controlador que pode fazer um agente agir como ele quiser (talvez por controle direto sobre o cérebro do agente). O controlador não irá intervir, no entanto, se o agente quiser fazer por conta própria o que o controlador deseja. (p. 17)⁵²

Segundo Frankfurt, o agente será responsabilizado por suas ações, ainda que não possa escolher de outra forma. Nos exemplos, os controladores podem monitorar os agentes por um período indeterminado, assim, os exemplos de Frankfurt não são restritos a atos individuais.

2.3.1 AS TEORIAS COMPATIBILISTAS E O *LOOPHOLE* DA INDEPENDÊNCIA DAS MEDIÇÕES

As teses compatibilistas são baseadas em um conceito de liberdade menos restrito do que o proposto pelos libertarianistas. Conforme acima discutido, como os compatibilistas defendem que a liberdade diz respeito apenas à liberdade de agir, o agente é considerado livre mesmo se é capaz de agir segundo seus desejos e inclinações. Os casos em que os desejos ou as inclinações têm caráter patológico são excluídos, pois violam outra condição compatibilista da liberdade, a saber, a ausência de restrições, coerções ou impedimentos.

Entretanto, a solução compatibilista não é adequada para garantir a liberdade de escolha nos experimentos de Bell. Os compatibilistas consideram uma cadeia causal de eventos incompleta. Como observou Paul Edwards (1958), a análise causal é interrompida arbitrariamente nos desejos e inclinações. Entretanto, desejos e inclinações são efeitos

52 “Frankfurt-type examples typically involve a controller who can make an agent do whatever the controller wants (perhaps by direct control over the agent's brain). The controller will not intervene, however, if the agent is going to do on his own what the controller wants” (Kane, 2002, p. 17).

causados por eventos anteriores. Deve-se admitir que não apenas eventos psíquicos, mas também eventos empíricos são causas dos desejos e inclinações dos agentes. Sob essa perspectiva, a ação de um agente é o efeito de uma cadeia causal que remonta a um passado distante.

O passado causal de uma ação é um fator importante nas tentativas de solucionar o *loophole* da independência das medições. Podemos citar como exemplos os experimentos de Rauch et al. (2018) e Handsteiner et al. (2017) em que as escolhas das medições foram feitas a partir dos graus de liberdade de fótons emitidos por estrelas distantes. Esse esforço experimental foi feito para restringir o volume do cone espaço-temporal disponível para a causa comum que poderia influenciar nas escolhas das medições. No experimento de Rauch et al. (2018), as estrelas usadas como fonte eram tão distantes que o estabelecimento de uma possível relação causal ficava restrito a apenas 4% do volume espaço-temporal disponível.

Por ser o passado causal um fator importante nas tentativas de solucionar o *loophole* da independência das medições, pode-se concluir que esse tipo de solução compatibilista não é adequada para garantir a liberdade nas escolhas das medições em um experimento de Bell. A ação de um agente, segundo os compatibilistas, está conectada a uma cadeia causal extensa. Assim, é impossível garantir que a variável oculta não pertença a essa cadeia. Em outras palavras, é impossível garantir que a variável oculta não pertença ao passado causal dos desejos e das inclinações que causam as ações.

Ainda que estejam baseadas em princípios distintos, as diversas correntes compatibilistas sinalizam para a mesma conclusão acerca da liberdade dos agentes. Ao defender a compatibilidade entre determinismo e livre-arbítrio as teses compatibilistas preservam o determinismo, além disso, preservam principalmente a liberdade, uma vez que o agente pode ser considerado livre mesmo agindo sob o impulso de desejos e inclinações. Entretanto, o mesmo não pode ser dito sobre as teses incompatibilistas, que passaremos a analisar a seguir.

2.4 A SOLUÇÃO INCOMPATIBILISTA

A incompatibilidade entre o livre-arbítrio e o determinismo é apresentada através do argumento da consequência: se o determinismo for verdadeiro, as ações e as escolhas dos agentes são apenas consequências das leis da natureza e dos eventos passados. Entretanto, o

agente não tem controle sobre as leis da natureza nem sobre os eventos anteriores ao seu nascimento, assim, o agente não é a fonte de suas escolhas ou ações. Segundo os incompatibilistas, esse argumento apresenta uma violação clara de um dos princípios do livre-arbítrio, a saber, a ideia de que as escolhas e as ações são causadas por uma agente. Portanto, o determinismo seria incompatível com a liberdade.

A defesa de que é impossível conciliar o determinismo e o livre-arbítrio não implica na alegação de que o agente é livre, ela implica apenas que o livre-arbítrio e o determinismo não podem ser ambos simultaneamente verdadeiros. Portanto, os incompatibilistas se dividem em libertarianistas, que negam o determinismo, e deterministas rígidos, que negam a liberdade. Como esse segundo ponto de vista é incompatível com a hipótese de Bell, apenas a primeira perspectiva libertarianista será aqui considerada. Em linhas gerais, podemos identificar três princípios do libertarianismo: i) o livre-arbítrio é incompatível com o determinismo; ii) o livre-arbítrio é verdadeiro; iii) e o determinismo é falso. O conceito de liberdade dos incompatibilistas é mais restrito do que o dos compatibilistas. O argumento destes últimos de que os agentes são livres e suas ações são determinadas por seus desejos e inclinações não seria válido para os incompatibilistas, uma vez que se baseia em uma análise incompleta da cadeia causal de eventos. Segundo Paul Edwards (1958), a análise causal é interrompida arbitrariamente nos desejos e inclinações. No entanto, se retrocedermos ainda mais na cadeia causal concluiremos que os desejos e inclinações, que são causas das ações, são eles próprios causados por eventos anteriores como configurações genéticas e influências externas. Como a relação causal entre os eventos é determinista, as ações seriam definidas por eventos anteriores e o agente não seria responsável por elas.

Além de defender a incompatibilidade entre a liberdade e o determinismo e negar o determinismo, o libertarianismo deve tornar inteligível o conceito de liberdade em um mundo indeterminista. A negação ao determinismo implica a negação da tese de que as mesmas condições passadas e as mesmas leis da natureza constroem o mesmo futuro. Portanto, ela implica a adoção da antítese de que se pode construir futuros alternativos com as mesmas condições passadas e leis. Os indeterministas argumentam que a ocorrência de um determinado evento é resultado de um processo aleatório. Sob uma perspectiva geral, as decisões dos agentes também seriam definidas por processos aleatórios. Nesse sentido, os agentes não seriam a fonte de suas escolhas e ações. Como suas decisões seriam arbitrárias e

inexplicáveis, os agentes não poderiam ser responsabilizados por suas eventuais violações de regras morais. Desta forma, assim como o determinismo, o indeterminismo também representa uma ameaça ao livre-arbítrio. Os libertarianistas devem assim mostrar que o livre-arbítrio é não apenas incompatível com o determinismo, mas compatível com o indeterminismo.

Essa segunda tarefa, conhecida como a “questão da inteligibilidade”, deve responder à seguinte pergunta: seria possível tornar inteligível o conceito de liberdade sob uma perspectiva indeterminista? As teorias libertarianistas que pretendem resolver essa questão podem, segundo Kane (2002), ser divididas em duas categorias: 1) as teorias do agente causal que postulam uma forma *sui generis* de relação causal para explicar as escolhas e ações dos agentes; e 2) as teorias da inteligibilidade teleológica que explicam as ações dos agentes através dos motivos e propósitos. As teorias do segundo tipo são subdivididas ainda em dois grupos: i) as teorias não causais (ou indeterministas simples) que defendem que a agência livre não requer explicação causal; e ii) as teorias do evento causal (ou indeterministas causais) a favor da explicação da agência através das relações causais indeterministas.

2.4.1 AS TEORIAS DO EVENTO CAUSAL E O *LOOPHOLE* DA INDEPENDÊNCIA DAS MEDIÇÕES

Em “*The Significance of Free Will*” Kane defende que para os libertarianistas o problema do livre-arbítrio é composto por duas etapas. A primeira é mostrar que o tipo de liberdade que, nas palavras de Daniel Dennett, vale a pena querer é incompatível com o determinismo. Na segunda etapa deve-se mostrar que essa liberdade é inteligível em um mundo indeterminista. Usando a metáfora da escalada de uma montanha, Kane identifica as duas etapas como ascendente e descendente. Sua teoria se distancia de outras teorias libertarianistas (como a teoria do agente causal) principalmente na solução do “problema descendente”.

Ao superar o “problema ascendente”, os libertarianistas devem adotar uma teoria indeterminista. Uma propriedade indispensável das teorias indeterministas é a possibilidade de que um evento tenha 2 resultados distintos, mesmo que todas as circunstâncias passadas e

as leis da natureza permaneçam as mesmas. Quando aplicada ao processo de decisão de um agente, essa propriedade impõe uma dificuldade à ideia de que as escolhas do agente são racionais. Para torna esse ponto mais claro, vamos recorrer a um exemplo apresentado por Kane em “*The Significance of Free Will*”.

Considere Jane, que estava deliberando sobre onde passar suas férias. Ela deve passar as férias no Havaí ou Colorado (ou Europa, ou qualquer outro lugar)? O assunto é importante para ela que está pensando sobre isso por dias. Ela considerou várias consequências de cada opção, imaginou cenários contrastantes, consultou brochuras e contas bancárias e considerou seus desejos, interesses e propósitos mais amplos. No final, ela gradualmente começou a acreditar que o Havaí é a melhor opção, considerando todas as coisas, e a escolhe esta opção. Agora, se a escolha não foi determinada, então Jane poderia ter escolhido de outra forma (por exemplo, ela poderia ter escolhido Colorado), dadas exatamente as mesmas circunstâncias anteriores (e as leis da natureza) precedendo a escolha real do Havaí. Isso significa que exatamente a mesma deliberação prévia até o momento da escolha, por meio da qual ela veio a acreditar que o Havaí foi, considerando todas as coisas, a melhor opção, poderia ter resultado na escolha do Colorado como destino - exatamente os mesmos pensamentos e raciocínios anteriores, os mesmos cenários imaginários e consequências consideradas, as mesmas crenças anteriores, desejos e outros motivos que levaram à escolha do Havaí - sem diferença alguma - teria resultado na escolha do Colorado. Isso é estranho, para dizer o mínimo.” (p. 107)⁵³

A dificuldade é causada pela condição indeterminista, segundo a qual os agentes podem fazer escolhas distintas dadas as mesmas circunstâncias e leis da natureza. Segundo Kane, grande parte das teorias libertarianistas pretendem solucionar esse problema introduzindo um “fator extra”, pois, “algo deve ser diferente para explicar a diferença de escolha (CA ou CB), e esse algo não pode ser as circunstâncias e leis passadas (P), que são as mesmas.” (Cf. Kane,

53 “Consider Jane, who was deliberating about where to spend her vacation. Should she vacation in Hawaii or Colorado (or Europe, or wherever)? The matter is important to her and she has been thinking about it for days. She has considered various consequences of each option, imagined contrasting scenarios, consulted brochures and bank accounts, and considered her desires, interests, and broader purposes. In the end, she gradually comes to believe that Hawaii is the best option, all things considered, and chooses it. Now if the choice were not determined, then Jane could have chosen otherwise (e.g., she could have chosen Colorado), given exactly the same past circumstances (and laws of nature) preceding the actual choice of Hawaii. This means that *exactly the same prior deliberation* up to the moment of choice, through which she came to believe that Hawaii was, all things considered, the best option, may have issued in the choice of Colorado—exactly the same prior thoughts and reasonings, the same imagined scenarios and considered consequences, the same prior beliefs, desires, and other motives that led to the choice of Hawaii — not a sliver of difference—would have issued in the choice of Colorado instead. This is strange, to say the least.” (Kane, 1998, p. 107).

1998, p.115). Ele entende que tal estratégia é inadequada, pois a inclusão de propriedades que seriam exclusivas dos agentes acrescentaria mais problemas para as teorias libertarianistas.

Para evitar a introdução de um “fator extra” que possa criar mais problemas, Kane propõe o princípio da agência livre. O princípio estabelece que, em teorias libertarianistas não se deve introduzir categorias ou entidades que também não sejam necessárias para as descrições não libertarianistas (compatibilistas ou deterministas). Como exemplo consideremos o caráter inteligível do arbítrio proposto na teoria kantiana. Esse é um elemento desnecessário para as teorias compatibilistas, portanto, sua introdução viola o princípio da agência livre e seria inadequada segundo Kane.

A teoria do evento causal de Kane é balizada pelo princípio da agência livre. Segundo essa teoria, a atuação do agente livre pode ser explicada por processos naturais do tipo evento causal, sem a necessidade de postular uma causalidade *sui generis*. A deliberação seria feita a partir da ocorrência de lembranças, pensamentos, sentimentos, etc. Essas ocorrências seriam aleatórias, não tendo o agente controle sobre elas. Assim, elas influenciariam as escolhas e as ações sem determiná-las. Apesar desse fator aleatório, o agente ainda possuiria certo controle sobre os resultados do processo deliberativo. As reações do agente diante das lembranças e dos pensamentos que se apresentam aleatoriamente são controladas pelo próprio agente, assegurando assim a responsabilidade sobre suas escolhas e ações. Segundo as teorias do evento causal, o agente avalia cada imagem, lembrança ou sentimento a partir do conjunto de suas crenças e inclinações que são formadas por suas experiências passadas. Assim, a introdução do fator aleatório no processo deliberativo assegura a possibilidade de futuros alternativos, entretanto, a participação do agente no processo é determinada por suas crenças e inclinações.

Kane (2002, p.419) um exemplo em que o agente deve deliberar sobre duas possibilidades excludentes, ele pode agir de forma A ou B. Kane sugere que o processo deliberativo pode ser representado pela relação competitiva entre duas redes neurais, que seriam alimentadas por impulsos e desejos conflituosos do agente. A decisão do agente acontece quando “a rede neural atinge um limiar de ativação”. Nessa descrição, a deliberação é um processo natural randômico, que está associado ao esforço do agente em avaliar as opções de escolha disponíveis. Portanto, trata-se de um fenômeno aleatório submetido à causalidade probabilista. É um processo do tipo evento causal.

Nesse processo, a escolha permanece indefinida até o instante da decisão. Isso é o que caracteriza o processo como indeterminista, ou seja, dadas as mesmas circunstâncias o agente pode escolher de uma forma ou de outra. Entretanto, Kane ressalta que a aleatoriedade envolvida no processo não afasta a responsabilidade do agente por suas escolhas. Como o esforço deliberativo do agente está associado a um processo causal indeterminista, o agente está vinculado, através dessas relações causais, ao resultado do processo, seja ele qual for.

De forma geral, o principal objetivo da teoria do evento causal é propor uma explicação libertarianista para o problema do livre-arbítrio, sem postular uma forma *sui generis* de causalidade. A teoria do evento causal não considera que o agente inicia uma série causal. Suas decisões são resultado de um processo natural aleatório, submetido à causalidade probabilística, que envolve suas crenças, desejos, intenções, razões e motivos. Segundo Kane, esses elementos possuem efetividade causal, portanto pertencem à cadeia de eventos que gera a decisão do agente (Kane, 2002, p.426). Ao atribuir efetividade causal às razões e motivos, a teoria do evento causal se aproxima das teorias compatibilistas e deterministas. Segundo Kane, o que torna sua teoria libertarianista é a abordagem probabilista feita sobre o processo deliberativo do agente livre. O caráter aleatório desse processo seria responsável por garantir a liberdade e responsabilidade moral do agente (Kane, 2002, p.426).

Não pretendemos nesta tese avaliar a adequação da teoria do evento causal para solucionar o problema do livre-arbítrio. Nosso interesse é em analisar se essa perspectiva pode ser usada para solucionar o *loophole* da independência das medições. Como mencionamos, a solução desse problema exige características específicas da teoria do agente que o diferenciam do problema do livre-arbítrio. Assim uma teoria do agente pode ser coerente ao abordar a ação livre do agente racional e não cumprir os requisitos para solucionar o *loophole*.

Para solucionar o *loophole*, a teoria da agência deve assumir que a ação de um agente é resultado de uma série causal que é iniciada pelo agente. Na teoria do evento causal, a ação é resultado de uma série causal iniciada antes da decisão do agente. Na verdade, a decisão do agente é um elemento intermediário nesta série. As decisões são o resultado de eventos anteriores, sendo eles processos naturais (evento causais) aleatórios. Entretanto, relações causais não deterministas também violam a condição de independência das medições. Esta relação causal com eventos anteriores é suficiente para a suposição de que a variável oculta

poderia pertencer ao passado causal do processo natural que gera a decisão do agente. Esta suposição seria suficiente para violar a condição de independência das medições. Como foi mostrado por Degorre et al. (2005) e Hall (2010), essa condição é a hipótese mais sensível do teorema de Bell. Uma pequena violação desta condição seria suficiente para permitir a construção de modelos clássicos que explicariam as correlações quânticas.

Portanto, ainda que a teoria do evento causal possa estabelecer o tipo de liberdade que “vale a pena” para a atribuição de responsabilidade moral, no nosso entendimento, ela não fornece uma solução para o *loophole* da independência das medições. A teoria do evento causal não é capaz de assegurar que a variável oculta não estaria no passado causal do processo natural que gera a decisão do agente. Apenas o caráter probabilista das relações causais não é suficiente para garantir a independência entre a variável oculta e o agente em um teste de Bell. A solução depende que o agente racional não esteja submetido à mesma causalidade que eventos. Nas próximas seções analisaremos se as teorias não causal e do agente causal cumprem esse requisito teórico.

2.4.2 AS TEORIAS DO AGENTE CAUSAL E O *LOOPHOLE* DA INDEPENDÊNCIA DAS MEDIÇÕES

As teses libertarianistas do agente causal defendem que as ações livres não podem ser causadas por eventos anteriores e o agente deve ser efetivamente a fonte das ações livres. Nesse sentido, há uma distinção entre o tipo de causalidade que rege as ações do agente e as leis causais que governam o resto do mundo. O agente seria um “fator extra”. Essa forma alternativa de causalidade permitiria ao agente iniciar uma série causal, garantindo assim que ele seria de fato responsável por suas ações.

Em um experimento de Bell, a tese de que o agente pode iniciar uma série causal é necessária para assegurar a liberdade nas escolhas das medições. O agente, como fonte única de suas ações estaria livre de influências causais das variáveis ocultas. Nesse sentido, as teorias do agente causal poderiam fornecer argumentos adequados para sustentar a solução do

loophole da independência das medições a partir do livre-arbítrio. Nesta seção avaliaremos esses argumentos.

A principal característica da teoria do agente causal é a introdução do “fator extra”. Os defensores dessa teoria entendem que postular uma forma *sui generis* de causalidade para o agente, é a única forma de garantir que ele tenha de fato controle sobre suas ações. Se as decisões dos agentes respeitassem a causalidade natural, suas escolhas seriam o resultado de eventos anteriores e o agente não seria a fonte de suas ações. Ainda que essas relações causais fossem probabilísticas, os agentes não teriam o controle de suas ações. Esta é a principal divergência entre a teoria do agente e do evento causal.

Além de iniciar uma série causal, as decisões do agente devem também admitir justificativa em termos de razões. Espera-se que o agente racional delibere sobre as alternativas disponíveis antes de decidir. Caso contrário, suas escolhas seriam arbitrárias e ele não poderia ser responsabilizado por seus atos. Portanto, uma teoria do agente causal deve explicar qual é a relação entre as razões e as decisões dos agentes racionais.

Segundo O’Connor, as explicações em termos de razões não são causais. As razões não possuem efetividade causal e teriam apenas um “papel causal estrutural” (2000, p.95). Esse papel estrutural consiste em fornecer um contexto para que algum fator com efetividade causal exerça seu efeito característico. O’Connor cita um exemplo em que uma instalação elétrica cumpre um papel causal estrutural (2000, p.53). Ao pressionar o botão de uma campainha (evento A) um som será emitido (evento B). O evento A é causa do evento B, mas essa relação causal só pode ser realizada através da estrutura fornecida pela instalação elétrica que conecta o botão da campainha e a fonte sonora.

Na teoria de O’Connor, o agente causa a intenção de agir através das condições estruturais criadas por suas razões. Assim, as razões seriam elementos impulsivos e cognitivos que “estão entre os fatores mais básicos que circunscrevem minha capacidade de exercer um limitado grau de autonomia” (O’Connor, 2000, p.95). Antes e durante o processo deliberativo, o agente encontra-se em um estado em que razões são conhecidas. A partir desse estado ele exerce sua efetividade causal, reconhecendo uma razão como motivo para agir. O agente causa a intenção de agir, iniciando por si mesmo uma série causal.

Segundo O'Connor, o agente não tem controle sobre quais são as razões que compõem seu estado cognitivo antes e durante o processo deliberativo (O'Connor, 2002, p.351). Esse estado é formado pelas experiências anteriores do agente, que foram constituídas pela combinação de decisões do agente e eventos do mundo, sobre os quais o agente não tem controle. O estado cognitivo circunscreve o conjunto de possibilidades de escolhas do agente. Entretanto, as decisões não são determinadas pelo conjunto de razões do agente, tampouco são o resultado de um processo aleatório envolvendo tais razões.

Nesse sentido, uma objeção natural à teoria de O'Connor é a de que o agente não teria autonomia suficiente para decidir. Seu processo deliberativo envolveria fatores que não foram escolhidos por ele e que, portanto, influenciariam suas decisões, mas não estariam sob seu controle. Essa objeção considera implicitamente que as experiências anteriores criam no agente tendências e propensões para realizar uma determinada ação. Dessa forma, seria possível concluir que essas experiências, que podem não ser controladas pelo agente, são causas de suas ações, limitando a liberdade do agente.

O'Connor responde a essa objeção, estabelecendo qual é tipo de influência que as razões exercem sobre as escolhas do agente. Segundo sua teoria, as tendências não são causadas pelas razões ou pelas experiências aos quais o agente foi submetido. Pelo contrário, no processo deliberativo o agente reconhece razões como motivos para agir e isso eleva sua propensão (inclinação ou tendência) de agir de uma determinada maneira (O'Connor, 2000, p.97). Não há uma causa anterior que atua no agente e produz o reconhecimento de uma razão como motivo para agir. A cadeia causal começa no agente. Portanto, apesar das limitações impostas pelo contexto criado pelas experiências anteriores, o livre-arbítrio é assegurado pela efetividade causal do agente.

No último capítulo de *Persons and Causes*, O'Connor defende que o “fator extra”, a causalidade *suis generis* do agente, seria uma propriedade emergente de sistemas físicos complexos. A tese da emergência considera um tipo de relação entre as propriedades dos sistemas macroscópicos e seus constituintes microscópicos.

Em termos gerais, existem duas posições sobre a relação entre sistemas microscópicos e macroscópicos: a reducionista e a não reducionista. A primeira afirma que os fenômenos macroscópicos são constituídos exclusivamente por uma rede de processos microscópicos.

Nesse caso, tanto fenômenos mecânicos quanto escolhas humanas podem ser reduzidos à descrição microscópica. O processo deliberativo do agente seria o resultado de uma rede de processos microscópicos, portanto o livre-arbítrio não seria possível (O'Connor, 2000, p.109). A segunda posição, que é adotada por O'Connor, afirma que sistemas macroscópicos com um determinado grau de complexidade exibem propriedades que não são redutíveis às propriedades de seus constituintes microscópicos. Uma propriedade emergente seria “uma função de certas potencialidades causais conjuntas de propriedades básicas subjacentes” (O'Connor, 2000, p.111). As propriedades microscópicas dos objetos se manifestam localmente. Entretanto, quando os mesmos objetos se encontram em um contexto “adequadamente organizado”, eles podem gerar características emergentes para o sistema global.

De acordo com a tese da emergência, apenas os sistemas com um determinado grau de complexidade poderiam exibir as propriedades emergentes. O'Connor defende que certos fenômenos mentais podem ser explicados em termos das propriedades emergentes. A consciência de como é ter um certo pensamento ou sensação seria um desses fenômenos mentais (O'Connor, 2000, p.116). Segundo O'Connor, nossa percepção dessa consciência não é mediada por sinais causais, não é possível reconhecer o papel de cada componente na constituição do efeito global (a consciência). Portanto, a tese reducionista não seria capaz de explicar esta consciência. O'Connor aponta uma segunda característica da consciência que seria incompatível com a tese reducionista: sua subjetividade. A consciência de como é ter um certo pensamento ou sensação seria percebida apenas por aquele que a possui. Com as relações causais naturais são objetivas, a descrição reducionista não explicaria esse caráter subjetivo da consciência.

O conceito de emergência adotado por O'Connor seria “feito sob medida” para explicar o caráter subjetivo e não estrutural da consciência (O'Connor, 2000, p.117). Assim ele argumenta:

Uma vez que concordamos que forças de nível micro podem dar origem a uma nova propriedade simples, não há empecilho para que essa propriedade tenha a característica distintiva de subjetividade. Se as propriedades são capazes, por uma questão de necessidade nomológica, de produzir um tipo inteiramente novo de propriedade, que razão temos para afirmar que, em relação à distinção de propriedade objetiva-subjetiva, as propriedades podem

gerar outras de sua própria espécie por si só? Pelo menos, esta parece ser uma questão empírica, não filosófica ou conceitual. (2000, p. 117)⁵⁴

A tese da emergência forneceria, portanto, uma alternativa para abordagem de propriedades não convencionais nas ciências naturais que não podem ser concebidas a partir da posição reducionista. A liberdade do agente na teoria de O'Connor ganha sustentação a partir desta alternativa oferecida pela tese da emergência. O livre-arbítrio seria uma propriedade emergente de um sistema complexo. Essa abordagem não seria contrária ao ordenamento causal da natureza, pelo contrário, seria uma consequência desse ordenamento.

A teoria do agente causal de O'Connor não exige compromisso com a dualidade da substância. Assumida em várias teorias do agente causal, a dualidade da substância é uma premissa fortemente criticada por opositores dessas teorias. No caso da teoria de O'Connor, essa premissa não seria necessária, pois o “fator extra” seria uma propriedade emergente de um sistema complexo. Nas palavras do autor:

Pode ser suficiente, entretanto, que se suponha que o poder causal do agente e suas propriedades sejam ontologicamente emergentes, embora ainda sejam poderes e propriedades do organismo biológico. Ou seja, pode-se abraçar uma forma forte de dualismo de propriedade, consistente com o monismo de substância. Observe que isso requer um entendimento metafísico, não meramente epistemológico, da emergência e, portanto, algo um tanto mais ambicioso do que o que é contemplado quando o termo emergência é usado em algumas teorias contemporâneas da mente na filosofia e nas ciências cognitivas. (2002, p. 342)⁵⁵

54 “Once we agree that micro-level forces could give rise to a novel, simple property, there is no direct bar to that property's having the distinctive characteristic of subjectivity. If properties are able, as a matter of nomological necessity, to produce an entirely novel type of property, what reason do we have to assert that concerning the objective-subjective property distinction, properties can spawn others of their own kind alone? At least, this would seem to be an empirical, not philosophical or conceptual, matter.” (O'Connor, 2000, p. 117).

55 “It may be enough, though, that one suppose that agent causal power and its allied properties are ontologically emergent, while still being powers and properties of the biological organism. That is, one might embrace a strong form of property dualism, consistent with substance monism. Note that this requires a metaphysical, not merely epistemological, understanding of emergence, and so something rather more ambitious than what is contemplated when the term emergence is used in some contemporary theories of mind in philosophy and cognitive science.” (O'Connor, 2002, p. 342).

Ao incorporar a tese da emergência em sua teoria do agente causal, O'Connor evita as críticas usuais contra o dualismo de substância. Sua teoria do agente causal assume os compromissos ontológicos de que “as pessoas são substâncias inelimináveis e duradouras que são, em algum sentido robusto, mais do que a soma dos constituintes de seus corpos” (O'Connor, 2002, p. 341)⁵⁶. Nesse sentido, a teoria ofereceria uma abordagem científica para explicar a liberdade do agente racional compatível com o ordenamento causal da natureza.

A solução para o *loophole* deve fornecer argumentos para que se possa estabelecer a ideia de causa não causada, isto é, deve considerar um fator que possui efetividade causal, mas que não é causado por nenhum evento anterior. O “fator extra” introduzido em teorias do agente causal satisfaz essa necessidade. A causalidade do agente é tomada como um elemento estranho à causalidade dos eventos. As duas causalidades possuem assim propriedades distintas. Nesse sentido, a princípio, uma solução para o *loophole* da independência das medições poderia ser formulada a partir da teoria do agente causal.

Entretanto, para os propósitos desta tese, na teoria do agente causal, tal como proposta por O'Connor, a distinção entre os dois tipos de causalidade não é estabelecida de forma suficientemente capaz para excluir o domínio da variável oculta do âmbito da causalidade do agente. A intenção do autor ao defender que a causalidade do agente emerge dos sistemas físicos é tornar sua teoria mais plausível no debate contemporâneo sobre o livre-arbítrio. Entendemos que essa é uma hipótese adequada nesse debate. Contudo, para solucionar o *loophole* da independência das medições, essa hipótese de O'Connor se torna problemática. Para adotar a teoria de O'Connor como solução do *loophole*, seria necessário garantir que a variável oculta não estaria envolvida no processo de emergência das propriedades do sistema macroscópico associado ao agente. Para assegurar que a variável oculta não participa desse processo seria necessário entender, em detalhes, o vínculo entre as propriedades emergentes e o sistema físico complexo que gera essas propriedades. Entretanto, esta explicação não está presente na teoria de O'Connor, tampouco nas ciências cognitivas.

Dentre as várias teorias do agente causal uma forte candidata a solucionar o problema do *loophole* da independência da medição é a teoria da agência de Kant pela clara distinção

56 people are ineliminable and enduring substances that are, in some robust sense, more than the sum of the constituents of their bodies.(O'Connor, 2002, p. 341)

que ela estabelece entre o âmbito da natureza e o da liberdade. Entendemos que essa distinção é necessária, pois a definição de variável oculta no debate da mecânica quântica é feita, propositalmente, de forma muito vaga. Não são definidos, de forma clara, quais são os mecanismos de interação característicos da variável oculta.

Antes de nos dedicarmos à teoria kantiana da agência causal, vamos avaliar o terceiro tipo de teorias incompatibilistas: as teorias não causais.

2.4.3 AS TEORIAS NÃO CAUSAIS E O *LOOPHOLE* DA INDEPENDÊNCIA DAS MEDIÇÕES

Em *On Action*, Ginet (1990) apresenta sua teoria não causal da agência a partir de um contraexemplo à teoria do agente causal e do evento causal. Ele argumenta que uma ação simples como pensar uma palavra qualquer seria um contraexemplo. A teoria do agente causal não explicaria essa ação simples, pois, segundo essa teoria, a ocorrência mental não seria um evento que existe durante um intervalo de tempo específico, mas seria produzida por um agente que é uma entidade duradoura. Segundo Ginet o agente que possui efetividade causal não possui os requisitos necessário para explicar aspectos básicos dessa ação mental simples. Ele argumenta que: “O simples fato de eu estar lá não pode explicar por que esse ato mental ocorreu exatamente quando aconteceu, e não mais cedo ou mais tarde, quando eu também estava lá” (Ginet, 1990, p.13)⁵⁷. Assim, na relação causal entre eventos, pode-se explicar a ocorrência do efeito em um determinado instante de tempo, pois sua causa, que também é um evento, estaria restrita a um intervalo de tempo específico, imediatamente antes do evento. Entretanto, a relação causal entre o agente e um evento não permite a mesma explicação, pois, contrariamente ao evento, o agente existe durante um intervalo de tempo prolongado, que não é imediatamente anterior ao efeito.

Ginet argumenta que a teoria do evento causal, por outro lado, também seria incapaz de explicar a ação simples. Por ser uma ação simples, não haveria relação entre a ação em si e qualquer outro evento anterior. Para ele, nenhuma relação extrínseca da ação simples com seu

57 The mere fact that I was there cannot explain why this mental act occurred exactly when it did, rather than sooner or later when I was there too.

sujeito ou com outro evento, “é necessária para torná-la um ato mental” (Ginet, 1990, p.14). A ação simples não tem a estrutura de um evento causando outro evento, portanto as teorias do evento causal não podem explicá-la.

Uma vez que tanto a teoria do agente causal quanto a do evento causal não seriam adequadas para explicar a ação simples, uma alternativa deve ser apresentada. Ginet propõe uma teoria não causal para a agência. Segundo essas teorias, as ações humanas seriam explicadas em termos de propósitos.

Na teoria de Ginet, “toda ação é ou começa com uma ação mental simples” (Ginet, 1990, p.15). Ações mais complexas envolvem explicações causais, entretanto, todas as ações têm origem em ações simples. Ginet explica a ação de um agente da seguinte forma:

Para um agente determinar se um evento, *e*, ocorre ou não é para ele fazer com que *e* ocorra executando alguma ação livre adequada. Se *e* não é sua própria ação livre, então a causação deve fazer parte do que é para ele fazer com que *e* ocorra: ele pode fazer isso apenas executando alguma ação livre que cause *e*. Mas se *e* é sua própria ação livre, então ele faz com que *e* ocorra, não por causá-lo, mas simplesmente por executá-lo. (1997, p. 107)⁵⁸

O'Connor (2000) critica a teoria não causal de Ginet, apelando à noção de controle do agente. Ele argumenta que a liberdade e a responsabilidade moral dependem do controle do agente sob suas ações e que esse controle só pode ser pensado através de relações causais. Portanto, na teoria da agência de Ginet, o agente não teria controle sobre sua ação, pois não haveria uma relação causal entre o agente e sua ação.

Ginet responde essa crítica, afirmando o seguinte: “parece-me evidente que, dado que uma ação não foi causada, tudo o que seu agente teve que fazer para que ela executasse aquela ação era realizá-la” (2007, p.247)⁵⁹. Ele argumenta que deve ser feita uma distinção entre as ações do agente e eventos que não são ações do agente, mas que são causados por ele. Segundo Ginet, a crítica de O'Connor se deve à falta desta distinção. Para tornar o argumento

58 “For an agent to determine whether or not an event, *e*, occurs is for her to make it the case that *e* occurs by performing some suitable free action. If *e* is not her own free action then causation must enter into what it is for her to make it the case that *e* occurs: she can do this only by performing some free action that causes *e*. But if *e* is her own free action, then she makes it the case that *e* occurs, not by causing it, but by simply performing it..” (Ginet, 1997, p. 87).

59 “it seems evident to me that, given that an action was not caused, all its agent had to do for it to perform that action was to perform it.” (Ginet, 2007, p.247)

mais claro, considere o caso em que um agente empurra uma porta. Deve-se distinguir a “porta em movimento” como um evento *e* que não é uma ação do agente, mas que foi causado por ele. Em contrapartida, “o agente movimentar seu braço” é uma ação do agente, e segundo Ginet, ela seria uma ação não causada. Para executar essa ação o agente deve apenas realizá-la.

As teorias não causais oferecem uma alternativa às teorias do evento e do agente causal, atribuindo ao agente uma "qualidade fenomenal ativa". Tal qualidade seria vivenciada pelo agente como algo que é realizado intencionalmente e seria suficiente para explicar a ação do agente. As explicações para as ações dos agentes pertenceriam ao domínio da racionalidade, elas possuiriam apenas conteúdo teleológico que justificariam a ação do agente segundo suas intenções. Assim, as ações não estariam submetidas às leis da causalidade.

Entretanto, apesar de não haver uma conexão causal entre o agente e sua ação, ela é explicada através de razões do agente. Nas palavras de Ginet:

O argumento mais amplamente apoiado contra o incompatibilismo, ao qual darei de longe a resposta mais ampla, combina a consideração de que uma ação livre pode ser influenciada pelas intenções, desejos e crenças do agente – pode ter uma explicação em termos de razões pelas quais o agente fez isso - com a suposição de que apenas um determinado evento pode ter tal explicação. Minha resposta a esse argumento será contrariar a suposição oferecendo uma explicação não-determinista ou anômica de tais explicações.⁶⁰ (1990, p.124)

Ginet pretende mostrar que as explicações de uma ação através das razões antecedentes do agente, sem supor a existência de relações causais entre o agente e a ação, permite “a possibilidade de que o mesmo estado antecedente do mundo possa fornecer uma explicação de razões para duas ou mais ações alternativas diferentes” (1990, p.146)⁶¹. Nesse sentido, o

60 “The most widely supported argument against incompatibilism, to which I will give by far the larger response, combines the consideration that a free action can be influenced by the agent's intentions, desires, and beliefs - can have an explanation in terms of reasons for which the agent did it - with the assumption that only a determined event can have such an explanation. My response to this argument will be to counter the assumption by offering an adeterministic or anomic account of such explanations.” (Ginet, 1990, p.124)

61 “the possibility that the very same antecedent state of the world could afford a reasons explanation for either of two or more different alternative actions.” (Ginet, 1990, p.146)

agente seria livre, pois suas escolhas não seriam determinadas por condições anteriores sobre as quais ele não tem controle.

Na teoria de Ginet, os estados antecedentes do mundo construiriam os desejos e inclinações dos agentes. Por sua vez, os desejos e inclinações seriam as razões para uma ação. Assim, segundo essa teoria, existiria uma relação de influência entre os estados antecedentes do mundo e as decisões do agente. Essa influência é não causal.

Considerando o *loophole* da independência das medições, a possibilidade de desvincular as ações humanas da causalidade oferece uma alternativa para a solução do problema. Se uma ação livre for entendida como algo que o agente realiza de forma não causal, então essa ação poderia estar livre da influência da variável oculta. Entretanto, nas teorias não causais da agência ainda existiria um vínculo entre os eventos do passado e as decisões do agente. Assim, seria possível imaginar um cenário em o agente que realiza o experimento de Bell toma uma decisão de medir a direção x_1 e não a direção x_2 por influência de estados antecedente do mundo. Os eventos vivenciados pelo agente seriam os estados antecedentes relevantes nesse caso. Assim, seria impossível assegurar que a variável oculta não teria influência no processo de decisão do agente. Poderiam existir relações causais entre os eventos antecedentes e a variável oculta. Assim, poderíamos supor que a decisão do agente de medir a direção x_1 em um experimento de Bell estaria vinculada à variável oculta. Mesmo que não existisse relação causal entre o agente e a ação, a variável oculta poderia influenciar na escolha do agente. A teoria não causal da agência não oferece mecanismos necessários para proteger as decisões do agente da influência da variável oculta.

Para solucionar o *loophole* seria necessário adotar uma teoria da agência que tornassem explícita a separação entre o domínio da causalidade e o da liberdade. Essa necessidade é justificada pelo fato de que, no teorema de Bell, o conceito de variável oculta é extremamente amplo. A simples eliminação das relações causais na explicação das ações humanas não seria suficiente para garantir a solução para o *loophole*. Seria necessário fornecer mecanismos conceituais que estabeleçam uma distinção clara entre o domínio dos eventos e o campo da liberdade do agente. Assim, seria possível defender que a atuação das variáveis ocultas estaria restrita a um domínio isolado das escolhas do agente. Isso nos permitiria assegurar a independência entre o agente e a variável oculta de forma mais consistente.

2.5 EM BUSCA DE UMA TEORIA DA AGÊNCIA QUE APRESENTE UMA SOLUÇÃO ROBUSTA PARA O *LOOPHOLE* DA INDEPENDÊNCIA DA MEDIÇÃO

Neste capítulo apresentamos as abordagens contemporâneas para problema do livre-arbítrio e as suas soluções. Argumentamos que o compatibilismo e as teorias do evento causal não são apropriadas para apoiar o pressuposto da liberdade do agente no experimento de Bell por não assegurar o tipo de liberdade necessária para a resolução do *loophole* da independência da medição. Reconhecemos que as teorias não causais e do agente causal possuem elementos que contribuiriam para a solução do *loophole*.

Contudo, a solução filosófica para o *loophole* da independência das medições exige a liberdade do agente de forma mais específica. Ela requer a independência completa entre o agente e a variável oculta. Entretanto, a variável oculta, como o próprio nome indica, possui características desconhecidas. Seus mecanismos de interação com outros objetos são desconhecidos, portanto, não é possível prever até onde se estende o campo de influência da variável oculta. Esse caráter amplo da definição da variável oculta é o que concede generalidade ao teorema de Bell, porém, é o que torna mais complexa a abordagem do *loophole* da independência das medições. Como não é possível conhecer os mecanismos de interação das variáveis ocultas, a solução filosófica para o *loophole* da independência da medição deve assegurar que a ação da variável oculta seja circunscrita a uma série causal que não contém o agente. Portanto, para assegurar a independência entre a variável oculta e o agente em um experimento de Bell, sem restringir o conceito de variável oculta, a solução filosófica para o *loophole* da independência das medições deve estabelecer uma distinção entre o campo da causalidade natural e o da liberdade. Assim, a variável oculta seria circunscrita ao campo causalidade natural, enquanto as escolhas dos agentes em um experimento de Bell seriam pensadas como elementos do campo da liberdade.

No próximo capítulo, pretendemos mostrar que a separação entre natureza e liberdade estabelecida no idealismo transcendental é um mecanismo capaz de proteger as escolhas do agente da influência da variável oculta, permitindo assim a solução do *loophole* da independência das medições. Apresentaremos no detalhe a perspectiva kantiana sobre o

problema do livre-arbítrio, por consideramos ser ela entre todas as alternativas a que melhor estabelece uma distinção clara entre o campo da causalidade natural e o domínio da liberdade dos agentes, em outras palavras entre a causalidade natural e a causalidade da liberdade ou transcendental. Buscaremos defender que a teoria da agência de Kant, usualmente classificada com uma teoria do agente causal (Kane, 2002, p. 415), é a que melhor se apresenta para solucionar o problema do *loophole* da independência da medição. A teoria kantiana da agência além defender a tese de que as ações do agente são livres, estabelece também uma distinção clara entre o domínio da natureza e o da liberdade. Ela se enquadra como um tipo de teoria do agente causal que escapa à dicotomia compatibilismo/incompatibilismo, como mostraremos no capítulo seguinte. Entre as várias teorias dessa linguagem optamos pela teoria da agência de Kant pela clara distinção que ela estabelece entre o âmbito da natureza e o da liberdade. Entendemos que essa distinção é necessária, pois a definição de variável oculta no debate da mecânica quântica é feita, propositalmente, de forma muito vaga. Não são definidos, de forma clara, quais são os mecanismos de interação característicos da variável oculta. Defenderemos também que o idealismo transcendental de Kant oferece recursos heurísticos apropriados que permitem a restrição do campo de atuação da variável oculta ao âmbito da natureza ou, mais propriamente ao domínio da causalidade natural.

Estamos ciente que a opção pela teoria da agência de Kant traz consigo a necessidade da adoção dos demais compromissos do idealismo transcendental. Entretanto, entendemos que a distinção clara entre natureza e liberdade é o grande diferencial dessa teoria para a solução do *loophole* da independência das medições. Essa distinção só é teoricamente possível devido ao fato de a teoria da agência de Kant estar inserida em um programa filosófico mais amplo, que fornece ferramentas para que tal separação seja estabelecida. Dessa forma, a complexidade dessa doutrina filosófica pode ser considerada, à primeira vista, como um aspecto negativo, que tornaria a solução filosófica do *loophole* desnecessariamente obscura. Entretanto, como será discutido no capítulo final, a amplitude do programa kantiano, que se estende para além de uma teoria da agência, proporciona uma série de instrumentos teóricos que são essenciais para a solução do *loophole* da independência das medições. Para assegurar a independência entre o agente e a variável oculta em um experimento de Bell, é necessária a construção de um espaço conceitual para a liberdade de agentes que escolhem as direções das medições. Esse espaço da liberdade do agente deve estar completamente desvinculado ao domínio da causalidade natural. Mostraremos também no capítulo 3 que, sob uma perspectiva kantiana, a

variável oculta estaria restrita ao domínio da causalidade natural. Assim, entendemos que a teoria da agência de Kant oferece os mecanismos para a construção da solução filosófica do *loophole* da independência das medições.

3 A TEORIA KANTIANA DA AGÊNCIA E SOLUÇÃO PARA O *LOOPHOLE* DA INDEPENDÊNCIA DAS MEDIÇÕES

Neste capítulo final nosso objetivo é mostrar que o compromisso filosófico implicitamente assumido por Bell (1976) e Abellán et al. (2018) é melhor compreendido em termos kantianos. Tornaremos explícita a base filosófica kantiana da hipótese a respeito das escolhas humanas. Na filosofia de Kant, a causalidade natural nos permite entender a natureza como sujeita a leis que se mantêm universalmente na natureza e lhe conferem um caráter previsível. Nesse sentido, todo evento é precedido por uma causa que gera uma cadeia causal de acordo com uma regra. No entanto, esse não é o único tipo de causalidade que opera no mundo empírico. Precisamos pressupor uma causalidade através da liberdade segundo a qual o poder de escolha do agente humano tem eficácia causal empírica e pode iniciar uma série como causa espontânea que não é causada por nenhum evento anterior. A filosofia kantiana estabelece uma distinção clara entre o domínio da liberdade e o da causalidade natural. Defendemos aqui que essa distinção é um elemento essencial para a solução filosófica do problema do *loophole* da independência das medições. Portanto, defenderemos aqui que a ideia de que as escolhas humanas são livres e têm eficiência causal em relação aos objetos naturais, pressuposta na hipótese central de Bell (1976) e Abellán et al (2018), encontra suporte na teoria de Kant da agência humana.

A liberdade é um elemento essencial tanto para a filosofia teórica quanto - e principalmente - para a filosofia prática de Kant. Em sua filosofia teórica, a liberdade da faculdade do entendimento, por vezes denominada pelo próprio Kant de espontaneidade, é imprescindível para ordenar espontaneamente as representações da intuição com vistas à constituição dos fenômenos (Cf. Kant, KrV, A 50-51/B74-75). Porém, é no âmbito da faculdade da razão pura, que a pressuposição da liberdade humana em contraposição à causalidade natural, ao produzir uma antinomia dialética, notadamente a terceira das quatro antinomias da razão, vai exigir de Kant uma solução totalmente original ao antigo problema do livre-arbítrio. Isso terá consequências importantes para a sua filosofia prática (KrV, A444-51/B472-79; A532-58/B560-86). Nessa esfera, a liberdade é necessária para assegurar a atribuição de responsabilidade moral aos agentes.

Neste capítulo apresentaremos o problema levantado por Kant na terceira antinomia, que opõe a causalidade natural à liberdade humana, bem como a solução proposta por Kant e seus desdobramentos no âmbito da teoria moral, com vistas a mostrar no final de que modo esta solução pode se apresentar como uma alternativa filosoficamente fértil para a abordagem do problema do *loophole* da independência das medições. Antes, porém, de apresentarmos o conflito entre a causalidade natural e a liberdade e sua possível solução para o problema do livre arbítrio em experimentos de Bell, vamos recapitular na próxima seção o domínio de aplicação da causalidade natural tal como Kant apresenta em sua Analítica transcendental

3.1 A CAUSALIDADE NATURAL COMO PRINCÍPIO DA FACULDADE DO ENTENDIMENTO

Um dos objetivos centrais do projeto crítico de Kant é a tentativa de estabelecer as condições de possibilidade do conhecimento objetivo. Na *Crítica da razão pura*, a primeira parte da Lógica transcendental, a Analítica transcendental, vai se ocupar com parte dessa tarefa, ao investigar as condições de possibilidade do conhecimento discursivo, próprias à faculdade do entendimento humano que é capaz de produzir representações objetivas de maneira espontânea.

A Analítica transcendental, sendo definida por Kant como “a decomposição de todo o nosso conhecimento *a priori* nos elementos do conhecimento puro do entendimento” (KrV, A64/B89), é dividida em duas partes, a Analítica dos Conceitos e Analítica dos Princípios. A Analítica dos Conceitos aborda a dedução das categorias do entendimento, os conceitos puros a partir dos quais o entendimento forma todos os seus conceitos empíricos. As categorias são condições *a priori* para a constituição da experiência e, conseqüentemente, para o conhecimento. Entretanto, o conhecimento não é puramente discursivo, isto é, ele não pode ser meramente pensado e, portanto, não pode ser definido apenas pelas categorias do entendimento. Nas palavras de Kant:

Pensar um objeto e *conhecer* um objeto não são a mesma coisa. Ao conhecimento, com efeito, pertencem duas partes: primeiramente o conceito (a categoria), por meio da qual é em geral pensado um objeto, e em segundo lugar a intuição, por meio da qual ele é dado; pois se ao conceito não pudesse ser dada uma intuição correspondente, ele seria um pensamento

segundo a forma, mas sem nenhum objeto, e através dele não seria possível nenhum conhecimento de alguma coisa, pois até onde eu saiba não haveria nada, nem poderia haver, a que meu pensamento pudesse ser aplicado. (KrV, B146)

É necessário que as impressões sensíveis sejam antes dadas na intuição por uma outra faculdade distinta do entendimento que é a faculdade da sensibilidade. Esta, diferente do entendimento, é uma faculdade receptiva e não espontânea. Ela recebe uma representação do objeto. A impressão produzida pelo objeto na sensibilidade é uma intuição empírica. Entretanto, apesar de ser uma faculdade receptiva, a sensibilidade não é uma *tabula rasa*. Na Estética Transcendental da *Crítica da razão pura*, Kant introduz as formas da intuição ou a intuição pura. As formas da intuição são o espaço e o tempo. Nas palavras do autor:

Assim, na estética *isolaremos* a sensibilidade retirando primeiramente tudo aquilo que o entendimento nela pensa por meio de seus conceitos, de modo que nada sobre a não ser a intuição empírica. Em seguida, ainda desta última tudo aquilo que pertence à sensação, de modo que nada sobre a não ser a intuição pura e a mera forma dos fenômenos, a única coisa que a sensibilidade por fornecer *a priori*. Nesta investigação se verificará que há duas formas puras da intuição sensível como princípios do conhecimento *a priori*, quais sejam, o espaço e o tempo (KrV, A21/B36)

A caracterização do espaço e do tempo como intuições puras é uma tese inovadora de Kant. Ao apresentar essa tese na Estética Transcendental da primeira *Crítica*, Kant nega as ontologias tradicionais do espaço e do tempo. Entretanto, segundo Allison, não se pode concluir que essa tese defendida por Kant seja uma nova ontologia. Allison defende que a posição de Kant sobre o espaço e o tempo deve ser pensada com uma “alternativa à ontologia” (2004, p. 98). Segundo essa interpretação, o espaço e o tempo seriam entendidos em termos de suas funções epistêmicas e não como realidades independentes. O espaço e o tempo são propriedades da mente que nos permitem organizar a multiplicidade fornecida pela sensibilidade.

Na Estética Transcendental, Kant divide a exposição das intuições puras do espaço e do tempo em duas exposições: metafísica e transcendental. A exposição metafísica tem como objetivo estabelecer a origem *a priori* das intuições puras. Por sua vez, a exposição transcendental pretende mostrar como as intuições puras estabelecem a possibilidade de conhecimento sintético *a priori*.

Ao defender, na exposição metafísica, que as intuições puras são *a priori*, Kant demonstra que mesmo não tendo sua origem na experiência, elas não são conceitos. O caráter não conceitual das intuições puras estaria associado à sua origem na sensibilidade. Assim, ele demonstra que espaço e tempo são intuições *a priori* e não conceituais.

Kant defende o caráter *a priori* do espaço, afirmando o seguinte:

Espaço não é um conceito que tenha sido derivado de experiências externas. Pois para que certas sensações sejam referidas a algo fora de mim (i. e., a algo em um outro lugar do espaço que não aquele em que me encontro), e para que, do mesmo modo, eu as possa representar como externas uma ao lado das outras, portanto não só diferentes, mas como em diferentes lugares, para isso a representação de espaço já tem de servi-lhes de fundamento. (KrV, A23/B38)

Segundo Kant, a representação do espaço deve ser pressuposta quando nos referimos a algo que está fora de nós, ou aos objetos como externos uns aos outros. O espaço seria um elemento constitutivo da experiência e, portanto, anterior a ela. Assim, o espaço não poderia ser derivado das experiências. Ele cumpre a função epistemológica de formar a experiência. Nesse sentido, é uma condição de possibilidade da experiência.

Após demonstrar que a noção de espaço antecede a experiência, Kant argumenta que ele não tem caráter conceitual. Em suas palavras:

Espaço não é um conceito discursivo ou, como se costuma dizer, um conceito universal das relações das coisas em geral, mas sim uma intuição pura. Pois, em primeiro lugar, só se pode representar um único espaço e, quando se fala em muitos espaços, entende-se por isso apenas as partes de um mesmo e único espaço universal. Essas partes também não podem preceder, como se fossem seus componentes (de modo que fosse possível a sua composição), ao único espaço que a tudo abarca, mas somente nele são pensadas. Ele é essencialmente uno, e o diverso nele, portanto também o conceito universal de espaços em geral, baseia-se simplesmente em limitações. (KrV, A24-25/B39)

A argumentação é baseada na oposição entre caráter conceitual e intuitivo. Kant pretende mostrar que o espaço não é um conceito e, portanto, é uma intuição. Um conceito geral é composto por conceitos mais simples que o antecedem logicamente. Um exemplo é o conceito geral de mundo, que é pensado como o conjunto de todas as coisas. Os conceitos das coisas que pertencem ao mundo antecedem e são constituintes do conceito de mundo. Kant defende que não podemos dizer o mesmo sobre o espaço. Ao pensar nas partes do espaço, o

espaço uno e geral é pressuposto. Não construímos a noção geral de espaço a partir de suas partes. Kant conclui então que o espaço é uma intuição e não é um conceito. Assim, ele finaliza a demonstração de que o espaço é uma intuição pura.

De maneira similar, Kant mostra que o tempo também é uma intuição pura. Enquanto o espaço é a forma do sentido externo o tempo é a forma no sentido interno. O tempo é uma propriedade da nossa sensibilidade que nos permite perceber nossos estados internos. Assim como o espaço, a intuição do tempo é um elemento que antecede e constitui a experiência e, portanto, é classificada por Kant como *a priori*. Devido a seu caráter não conceitual, o tempo é também considerado como uma intuição.

O espaço e o tempo são intuições puras que nos permitem constituir as experiências, formadas por objetos no espaço e no tempo. Porém, o espaço e o tempo não são propriedades do mundo, mas propriedades da nossa mente. Assim, nós constituímos os objetos e as experiências. Nesse sentido, não temos acesso às coisas em si. A intuição nos permite conhecer apenas os fenômenos, isto é, as coisas como nós as percebemos e não como elas são em si mesmas.

O espaço e o tempo são condições necessárias, porém não suficientes para o conhecimento do mundo. Na *Crítica da razão pura*, Kant introduz também os elementos *a priori* do entendimento, que são os conceitos puros ou categorias. Além das intuições puras, as categorias do entendimento também são necessárias para a constituição da experiência. As categorias do entendimento são apresentadas na Analítica dos Conceitos. A síntese das intuições e conceitos *a priori* conduz a formação dos juízos sintéticos *a priori*. A construção dos juízos sintéticos *a priori* é um dos problemas centrais da filosofia transcendental. Segundo Kant, “temos aqui uma das partes exigidas para a solução do problema geral da filosofia transcendental: como são possíveis juízos sintéticos *a priori*? ”(KrV, B73).

Kant classifica os juízos como analíticos e sintéticos. Os juízos analíticos são meramente explicativos, se limitam a explicar um conceito sem mencionar novos elementos. Como no caso do juízo “todos os corpos são extensos”. Nesse juízo analítico, a extensão já faz parte do conceito de corpo. Por outro lado, nos juízos sintéticos, o predicado acrescenta novos elementos ao conceito do sujeito. Esses são os juízos de ampliação. Nas palavras de Kant:

Em todos o juízos nos quais é pensada a relação entre um sujeito e um predicado (se leve em conta apenas os afirmativos, já que a aplicação será

depois mais fácil nos negativos), essa relação é possível de dois modos. Ou o predicado “B” pertence ao sujeito “A” como algo que já está contido (de modo oculto) neste conceito “A”; ou “B” se localiza inteiramente fora do conceito “A”, mesmo estando em conexão com ele. No primeiro caso eu denomino o juízo *analítico*, no segundo *sintético*. (KrV, A7/B11)

Os juízos também são classificados como *a priori* ou *a posteriori*. Os juízos *a priori* não dependem da experiência, são anteriores a ela. Enquanto os juízos *a posteriori* são possíveis pela experiência, que nos permite acrescentar atributos sensíveis ao sujeito.

Os juízos da experiência são sintéticos. Por exemplo, quando digo que minha blusa é branca, acrescento ao conceito de blusa uma característica específica da blusa que vejo. Nesse caso, são os sentidos que me fornecem informação sobre o sujeito em questão. Por sua vez, os juízos analíticos são todos *a priori*. Não há necessidade de recorrer a experiência para explicar o conceito que corresponde ao sujeito. Juízos desse tipo são universais e necessários pois estão circunscritos ao próprio conceito do sujeito.

Na *Crítica da razão Pura* Kant defende a existência de um terceiro tipo de juízos que não são nem sintéticos *a posteriori* nem analíticos *a priori*, que são os juízos sintéticos *a priori*. Estes juízos, sendo *a priori*, são também universais e necessários. E, além disso, acrescentariam características ao conceito do sujeito. Nesse sentido, são juízos que nos permitiriam ampliar nossos conhecimentos e não apenas esclarecer os conceitos. Entretanto, esse conhecimento não tem origem na experiência, seriam anteriores a ela.

Os juízos sintéticos *a priori* são possíveis devido à existência das intuições e dos conceitos puros. As intuições puras, o tempo e o espaço, são “duas fontes de conhecimento das quais se podem extrair *a priori* diferentes conhecimentos sintéticos” (KrV, A38/B55). Entretanto, por si mesmas as intuições puras não são suficientes para formar os juízos sintéticos *a priori*. O mesmo pode ser dito sobre as categorias do entendimento. Os juízos sintéticos *a priori* devem reunir os elementos puros intuitivos e conceituais. O conhecimento supõe a síntese de conceitos e intuições, como é afirmado na célebre passagem da introdução da *Lógica transcendental*: “Sem a sensibilidade, nenhum objeto nos seria dado, e sem o entendimento nenhum seria pensado. Pensamentos sem conteúdo são vazios, intuições sem conceitos são cegas” (KrV, A51/B75).

Para Kant, os conceitos puros ou categorias do entendimento, em número de doze, são separadas em quatro grupos: quantidade, qualidade, relação e modalidade. O processo de esquematização dessas categorias, a partir da intuição pura do tempo, resulta nos princípios *a*

priori do entendimento, que são também separados em quatro grupos: axiomas da intuição, antecipações da percepção, analogias da experiência e postulados do pensamento empírico em geral. Os princípios do entendimento, como juízos sintéticos *a priori*, são proposições que não derivam da experiência e conferem ao conhecimento científico sua validade universal e necessária. Os princípios do entendimento são introduzidos na Analítica dos Princípios da *Crítica da razão pura*.

As analogias da experiência representam um dos quatro princípios apresentados por Kant na Analítica dos Princípios. Elas são regras que nos permitem reduzir uma sucessão de percepções a uma experiência. Quando o diverso da intuição é apresentado em uma sucessão temporal, é necessário que essas percepções sejam relacionadas e ordenadas para que possa ser construída uma unidade objetiva da experiência. Nesse sentido, as analogias da experiência são regras que permitem a constituição *a priori* da experiência.

As relações entre os fenômenos no tempo podem ser de permanência, sucessão e simultaneidade. Assim, Kant define três analogias da experiência, cada uma associada a uma relação dos fenômenos no tempo. A segunda analogia, que é associada à sucessão, exprime o princípio da causalidade. Ela é enunciada da seguinte forma: “todas as modificações acontecem segundo a lei da conexão de causa e efeito” (KrV, A189/B232).

Na segunda analogia, Kant desafia a concepção de Hume que define a causalidade como um princípio psicológico derivado da experiência subjetiva. Para Kant, o princípio da causalidade é uma forma *a priori* constitutiva da experiência objetiva, sem qual não seria possível organizar o fluxo subjetivo das percepções. A apreensão do diverso da intuição no tempo não representa nada além de uma sucessão subjetiva de percepções. Dois observadores podem apreender a mesma sequência de eventos em ordens distintas. A faculdade da sensibilidade por si só não bastaria para transformar essa sequência de percepções em uma experiência objetiva, em que os eventos são ordenados segundo uma regra compartilhada pelos observadores. Portanto, para a constituição da experiência objetiva é necessária uma regra que transforma a sucessão subjetiva de percepções em fenômenos ordenados objetivamente. O princípio de causalidade é um juízo sintético *a priori* que nos permite ordenar de forma objetiva os fenômenos.

3.1.1 CAUSALIDADE E DETERMINISMO EM KANT

Segundo a interpretação de P. Kauark-Leite (2009, p. 208), o determinismo e a causalidade são expressos, na *Analítica dos Princípios* da *Critica da razão pura*, em termos de dois princípios distintos: o princípio das antecipações da percepção e a segunda analogia da experiência. O primeiro pertence ao grupo dos princípios matemáticos, enquanto o segundo pertence ao grupo dos princípios dinâmicos.

Os princípios do entendimento puro são as regras que o entendimento impõe sobre o conjunto dos fenômenos, de modo que eles possam ser objetivamente conhecidos. Os princípios matemáticos dizem respeito ao objeto da experiência isoladamente, independente da sua relação com os outros objetos. São princípios constitutivos da intuição. Por outro lado, os princípios dinâmicos regulam as relações entre os objetos da experiência. Nesse sentido, Kant classifica os princípios dinâmicos como princípios regulativos da intuição. Entretanto, devemos ressaltar que todos os princípios, tanto os matemáticos quanto os dinâmicos, são princípios constitutivos da experiência.

O princípio da antecipação da percepção, ou o princípio da grandeza intensiva, é enunciado na segunda edição da *Critica da Razão Pura* da seguinte forma: “em todos os fenômenos o real, que é um objeto da sensação, tem qualidade intensiva, i.e., um grau” (KrV, A166/B207). O conceito de grandeza intensiva em Kant está relacionado com a ideia de continuidade. O princípio estabelece que a continuidade é uma característica da sensação que é conhecida a priori. Em outras palavras, a continuidade da experiência não é uma característica empírica. A faculdade da intuição, por si só, não é suficiente para identificar, por exemplo, o caráter contínuo do movimento de um objeto. Nós percebemos o objeto em uma posição em seguida em outra, mas não percebemos as modificações infinitesimais entre uma posição e outra. É o princípio da antecipação da percepção que estabelece, a priori, o caráter de continuidade do movimento. Nesse sentido, o princípio da antecipação da percepção é pensado como princípio constitutivo da intuição.

O cálculo diferencial e integral, desenvolvido no século XVII independentemente por Newton e Leibniz, é um formalismo matemático que permite representar a mudança como uma transição contínua de estados. Ele fornece ferramentas como a derivada, que representa a taxa de variação instantânea de uma grandeza, e permite a análise de um processo em todos os

instantes de tempo. Em posse desse conceito é possível expressar, por exemplo, a velocidade instantânea (taxa de variação instantânea da posição de um objeto no tempo) de um objeto ao longo de uma trajetória. As derivadas podem ser relacionadas através de equações, as equações diferenciais. A segunda lei de Newton pode ser expressa por uma equação diferencial. A solução desta equação fornece o estado do sistema, sua posição e seu momento linear, em qualquer instante de tempo. O conhecimento do estado em todos os intervalos de tempo, nos permite conhecer a trajetória do objeto, as posições que foram ocupadas por ele no passado e aquelas que ele ocupará no futuro. Nesse sentido, o Cálculo Diferencial e Integral permite a antecipação dos estados futuros do objeto.

Kauark-Leite, acompanhando a interpretação de Hermann Cohen, afirma que “a essência do princípio da grandeza intensiva está no conceito de diferencial. A importância do princípio das antecipações procede, na verdade, do fato de que ele contém o fundamento transcendental do cálculo diferencial” (2009, p.207). Em uma passagem importante da *Análítica dos Princípios*, que corrobora com essa interpretação, Kant utiliza o termo “fluxões” também usado por Newton para se referir às grandezas contínuas: “Semelhantes quantidades também podem ser denominadas *fluidas*, pois a síntese (da imaginação produtiva) em sua produção é uma progressão no tempo cuja continuidade costuma ser descrita especialmente com a expressão do fluir (transcorrer)”. (KrV, A169/B211-B212)

Kant usa a linguagem newtoniana para afirmar que as grandezas físicas são grandezas intensivas. A associação entre o princípio da antecipação e o cálculo diferencial torna clara a identificação do princípio como a regra que conduz a uma ciência matemática da natureza. O sucesso da teoria newtoniana, ao descrever os objetos da natureza e sua constituição como conhecimento universal e necessário, dá legitimidade ao princípio da antecipação das percepções.

Kant escreve a primeira crítica sob a influência do triunfo da mecânica newtoniana, que estabeleceu a noção de causalidade determinista. A segunda lei de Newton estabelece que a força resultante é a causa da alteração do estado de movimento de um objeto. Quando conhecemos o estado do objeto (sua posição e seu momento linear) em algum instante de tempo, e todas as forças que atuam no objeto, podemos calcular seu estado em qualquer instante de tempo. Esse cálculo é feito através da equação diferencial expressa na segunda lei.

Assim, a lei que identifica a força como causa possibilita a previsão exata de todos os estados futuros do objeto. Nesse sentido, as leis causais da mecânica newtoniana são deterministas.

O vínculo entre o determinismo e a causalidade também é construído na filosofia de Kant. A ligação entre causa e efeito, definida na segunda analogia da experiência, torna possível a organização da sucessão de eventos em uma experiência objetiva. O princípio da antecipação da percepção constitui a intuição da evolução temporal de um objeto com uma sucessão contínua de estado ao longo do tempo. Dessa forma, a evolução temporal do estado de um objeto é constituída por relações causais que atuam continuamente, produzindo alterações infinitesimais no estado do objeto. Nesse sentido, o princípio da antecipação estaria vinculado ao princípio da causalidade. Kauark-Leite (2004, p.65) destaca a passagem da Segunda Analogia que torna clara essa ideia:

Em virtude disso, toda passagem, na percepção, a algo que se segue no tempo, é uma determinação do tempo por meio do engendramento dessa percepção; e, como o tempo é sempre – e em todas as suas partes – uma quantidade, tal passagem é também um engendramento de uma percepção como quantidade através de todos os graus, dos quais nenhum é menor, desde zero até o seu grau determinado. E assim fica clara, pois, a possibilidade de conhecer a *priori* uma lei das modificações segundo sua forma. (KrV, A280/B255).

Segundo Kant, há um entrelaçamento entre o determinismo e o princípio da causalidade, e a experiência objetiva é construída através dessa relação. Entretanto, ao apresentar o determinismo e a causalidade através de dois princípios distintos, Kant abre um espaço para o entendimento de que os princípios são independentes. Portanto, seria possível estabelecer uma dissociação entre o princípio da antecipação e a segunda analogia, e ainda preservar os aspectos fundamentais da teoria de Kant. Essa linha argumentativa é adotada pela filósofa neo-kantiana Grete Hermann (1996) em sua teoria sobre os fundamentos filosóficos da mecânica quântica.

3.1.2 A DISSOCIAÇÃO ENTRE A CAUSALIDADE E O DETERMINISMO

Em seu programa filosófico Hermann defende que a filosofia transcendental pode ser estendida ao domínio da teoria quântica. Seu ponto de partida é a ideia de que a causalidade, como princípio constitutivo da experiência, deveria ser preservada pela

revolução conceitual promovida na física contemporânea. Entretanto, uma primeira dificuldade se impõe: o caráter indeterminista da mecânica quântica é incompatível com a noção kantiana de causalidade determinista. Para solucionar essa incompatibilidade, Hermann defende a dissociação entre o determinismo e a causalidade, e posteriormente o abandono do princípio associado ao determinismo. Dessa forma, seria possível preservar a noção de conexão necessária, que segundo Hermann seria o aspecto essencial da causalidade.

Na segunda analogia da experiência Kant apresenta duas noções de causalidade. A primeira está associada ao princípio da razão suficiente, segundo o qual a causalidade é a regra que conecta a causa ao efeito, de acordo com uma ordem temporal objetiva.

Essa regra, porém, de determinar algo segundo a sequência temporal, é a regra segundo a qual naquilo que antecede pode ser encontrada a condição sob a qual o acontecimento se segue sempre (i.e. de maneira necessária). Logo, o princípio da razão suficiente é o fundamento da experiência possível ou, mais especificamente, do conhecimento objetivo dos fenômenos no que diz respeito à relação dos mesmos na série sequencial do tempo. (KrV, A200/B246)

Essa noção de causalidade segundo o princípio da razão suficiente não está necessariamente associada ao determinismo. Nesse sentido, a causalidade seria uma explicação suficiente para a produção de um determinado resultado. Essa explicação está sempre associada a uma sucessão temporal dos eventos, a identificação de uma causa anterior que produz o efeito. “Cada evento pressupõe uma razão (fundamento) que é a causa formal da modificação ocorrida” (Kauark-Leite, 2012, p. 137).

Posteriormente, ainda na segunda analogia da experiência, Kant associa a causalidade a uma segunda noção, desta vez entrelaçada ao princípio da antecipação das percepções. Nesse caso, a causalidade seria a regra que governa as alterações contínuas entre dois estados. Hermann defende a manutenção apenas da primeira noção de causalidade, em que a causalidade estaria dissociada do princípio da antecipação das percepções. Ao eliminar a noção de causalidade determinista Hermann faz uso da estrutura apresentada por Kant na *Analítica dos Princípios*, em que os princípios associados ao determinismo e à causalidade são distintos.

Antes de analisarmos o terceiro conflito dialético entre a causalidade natural e fenomênica, tal como exposta na segunda analogia da experiência, e o âmbito numênico da liberdade humana, e sua solução como possível resposta para o problema do livre-arbítrio em experimentos de Bell, torna-se necessário apresentarmos o contexto em que essa antinomia surge. É o que faremos na próxima seção.

3.2 AS ILUSÕES TRANSCENDENTAIS E A FUNÇÃO REGULATIVA DAS IDEIAS TRANSCENDENTAIS

Após estabelecer as condições de possibilidade do conhecimento na Analítica, Kant critica a metafísica dogmática na Dialética transcendental, segunda parte da sua Lógica transcendental, por extrapolar os limites do conhecimento objetivo. Essa extrapolação corresponde a uma necessidade da razão, que pensa ideias inacessíveis à nossa experiência. Esse movimento da razão de ultrapassar o domínio da experiência possível é a fonte das ilusões transcendentais.

Na introdução da Dialética transcendental Kant distingue as ilusões lógicas e empíricas das ilusões transcendentais. As duas primeiras podem ser identificadas e superadas, enquanto a terceira é inevitável. As ilusões transcendentais persistem mesmo diante da demonstração de que o conhecimento é restrito aos objetos da experiência. Segundo Kant, essa ilusão é natural e inevitável.

As ilusões transcendentais são produtos de uma faculdade discursiva distinta do entendimento que, na Dialética transcendental, é propriamente denominada de razão. Na Analítica transcendental, Kant se referia à razão de forma genérica, entretanto, na Dialética ela ganha o status de uma faculdade cognitiva original que produz ideias não diretamente associados a intuições. Em suas palavras: “Se o entendimento é a faculdade da unidade dos fenômenos por meio de regras, então, a razão é a faculdade da unidade das regras do entendimento sob princípios” (KrV, A302/B359). Enquanto o entendimento reduz à unidade as diversas representações dadas na intuição, a razão visa unificar os conceitos e princípios produzidos pelo entendimento. Assim, a razão se refere ao entendimento, “de modo a fornecer aos diversos conhecimentos deste, por meio de conceitos, uma unidade *a priori*” (KrV, A302/B359). Henry Allison (2004, p. 308) é um dos especialistas da filosofia kantiana a

defender que a caracterização da razão como uma faculdade independente do entendimento é fundamental para a argumentação desenvolvida na Dialética.

Em busca da “unidade *a priori*” a razão não se limita aos fenômenos. Ela ultrapassa os limites do conhecimento objetivo, originando ideias sem qualquer vínculo ou relação direta com as intuições da sensibilidade. Para Kant, a ideia é “um conceito necessário da razão ao qual nenhum objeto congruente pode ser dado nos sentidos” (KrV, A328/B385). Assim, a distinção entre ideias produzidas pela razão e conceitos produzidos pelo entendimento é um ponto central na Dialética transcendental. Enquanto o conteúdo dos conceitos do entendimento é o múltiplo da intuição, as ideias da razão não possuem conteúdo empírico. O conteúdo das ideias é formado a partir dos conceitos formais do entendimento, mas com matéria fornecida pela própria razão. Segundo Kant, a razão aplica as categorias do entendimento de forma indevida para formular as ideias. Como as ideias não possuem conteúdo empírico e resultam do uso livre das categorias do entendimento, não podemos afirmar que são falsas ou verdadeiras. Ainda que não possuam estatuto de conhecimento, as ideias da razão são elementos imprescindíveis tanto para a construção da filosofia moral de Kant quanto para um uso regulativo no âmbito do conhecimento empírico do mundo.

No Apêndice da Dialética transcendental, Kant discute a função regulativa das ideias transcendentais. As ideias transcendentais não têm uso constitutivo, isto é, elas não são responsáveis pela constituição da experiência como os princípios do entendimento. Entretanto, elas podem guiar indiretamente as investigações empíricas fornecendo um “*focus imaginarius*”. Como ele mesmo escreve:

Por isso, afirmo que as ideias transcendentais não são nunca de uso constitutivo, que por si próprio forneça conceitos de determinados objetos e, no caso de assim serem entendidas, são apenas conceitos sofisticos (dialéticos). Em contrapartida, têm um uso regulador excelente e necessariamente imprescindível, o de dirigir o entendimento para um certo fim, onde convergem num ponto as linhas diretivas de todas as suas regras e que, embora seja apenas uma ideia (*focus imaginarius*), isto é, um ponto de onde não partem na realidade os conceitos do entendimento, porquanto fica totalmente fora dos limites da experiência possível, serve todavia para lhes conferir a maior unidade e, simultaneamente, a maior extensão. (KrV, A644/B672)

As ideias de Deus, de alma e da liberdade possuem funções regulativas de natureza distinta. Enquanto a função regulativa atribuída às ideias de Deus e de alma são relevantes no

âmbito tanto da razão teórica quanto da razão prática, a ideia da liberdade está relacionada exclusivamente à filosofia prática.

Por exemplo, no âmbito teórico, a ideia de Deus pode ser associada a hipótese de que as leis da natureza não são um agregado aleatório de regras e sim um conjunto harmônico. A natureza é pensada como se fosse elaborada por um autor, como se fosse o resultado da ação de um criador que cria segundo alguma finalidade (KrV, A687/B715). Segundo Kant, essa concepção da natureza como obra de um criador orienta a razão em sua busca por uma unidade sistemática e intencional. Dessa forma, o conhecimento empírico se assenta sobre uma concepção de natureza que corresponde aos anseios da razão.

No âmbito da razão prática de Kant, a ideia de Deus é um postulado necessária para legitimar a própria regra moral e garantir que o cumprimento da regra seja recompensado. Na Doutrina Transcendental do Método da *Crítica da razão pura*, a ideia de Deus é apresentada com suporte para a regra moral:

É necessário que todo nosso curso de vida seja subordinado a máximas: ao mesmo tempo, porém, é impossível que isso aconteça caso a razão não conecte à lei moral, que é uma mera ideia, uma causa eficiente capaz de determinar ao comportamento conforme a ela, seja nessa ou em outra vida. Sem um Deus, portanto, e sem um mundo ainda invisível, mas esperado por nós, as nobres ideias da moralidade podem até ser objetos de elogio e admiração, mas não móveis do propósito e da execução. (KrV, A812-813/B840-841)

Na *Crítica da razão prática*, a ideia de Deus é um postulado necessário para a realização do Sumo Bem e pela união entre virtude e felicidade. Segundo Allison (1990, p.67), na teoria moral madura de Kant “é apenas porque já assumimos a realidade da obrigação moral como um “fato da razão” que devemos reconhecer o dever de lutar pela realização do Sumo Bem”.

Ao contrário da ideia de Deus, Kant apresenta a função regulativa da ideia de liberdade restrita exclusivamente ao campo da filosofia prática. A liberdade do agente racional o autoriza a fazer escolhas que não são determinadas pelas condições empíricas. Portanto, a função regulativa da ideia de liberdade é estabelecer as condições de imputabilidade dos agentes racionais.

3.3 AS ANTINOMIAS DA RAZÃO PURA

Se na Analítica transcendental Kant se opõe ao empirismo, ao mostrar o uso das categorias *a priori* do entendimento na constituição da experiência, na Dialética transcendental, ele vai se opor ao realismo transcendental. Em linhas gerais, pode-se caracterizar o realismo transcendental como a doutrina filosófica que toma os fenômenos como coisas em si mesmas. Essa doutrina pode se desdobrar em duas formas distintas: o racionalismo dogmático e o empirismo dogmático.

O racionalismo dogmático considera que a razão pode conhecer a essência inteligível das coisas. As aparências seriam representações imperfeitas dos objetos e devem ser abstraídas para que as coisas como são em si mesmas possam ser conhecidas. Sob essa perspectiva a razão não estaria condicionada à experiência espaço-temporal, pelo contrário, os aspectos fenomênicos dos objetos são tomados como meras aparências e podem nos induzir a equívocos. Assim, para os racionalistas a razão deve ultrapassar os limites da experiência sensível para alcançar a essência inteligível dos objetos.

O empirismo dogmático, ao contrário do racionalismo, supervaloriza as características espaço-temporais dos objetos, assumindo que elas são condições dos objetos em si mesmos. Assim, o empirismo dogmático atribui um caráter ontológico aos fenômenos. As aparências não podem ser abstraídas, pois são propriedades dos objetos em si mesmos.

Ao identificar o objeto do conhecimento à coisa em si, as duas vertentes do realismo transcendental não estabelecem limites para as condições de possibilidade do conhecimento. Dessa forma, tanto para o racionalismo quanto para o empirismo dogmático, a busca ao conhecimento se torna equivalente à busca pelo incondicionado. Para o empirismo dogmático, o objeto empírico é a coisa em si, não estando o seu conhecimento restrito às condições subjetivas. Poderíamos assim conhecer de forma incondicionada a totalidade da série dos fenômenos. Para o racionalismo dogmático, a abstração das aparências de um objeto empírico nos permite alcançar sua essência inteligível. Assim, ao defender que a razão pode conhecer aquilo que é puramente inteligível, os racionalistas ampliam o campo de conhecimento incluindo os objetos não empíricos.

Apesar de possuírem uma origem comum, o racionalismo e o empirismo dogmáticos concebem a ideia do incondicionado de forma incompatível. Segundo Allison (2004, p.359), quando aplicada à ideia de mundo, essa incompatibilidade resulta nas antinomias da razão. A ideia de mundo se distingue das outras ideias transcendentais que buscam o incondicionado, como a ideia de alma e a de Deus, por representar a totalidade das aparências e não algo fora

das aparências sensíveis. Enquanto as ideias de alma e de Deus se referem a entidades transcendentais, a ideia de mundo, de certa forma, se refere aos objetos empíricos. Segundo Kant, “somente as ideias cosmológicas têm em si a propriedade de poder pressupor como dados o seu objeto e a síntese empírica exigida para o conceito deste” (KrV, A479/B507).

As ideias de alma e de Deus constituem respectivamente a psicologia racional e a teologia racional. A psicologia racional pretende conhecer as propriedades da alma, enquanto a teologia racional se ocupa das provas da existência de Deus. Em ambos os casos, o objeto de estudo é puramente inteligível, não sendo submetido às condições espaço-temporais. Portanto, essas disciplinas são constituídas a partir da ampliação do campo do conhecimento para além da experiência. Esta ampliação é promovida pelo racionalismo dogmático que inclui os objetos puramente inteligíveis no campo do conhecimento. Kant apresenta suas críticas à psicologia racional e à teologia racional respectivamente no primeiro e no terceiro capítulos do segundo livro da *Dialética Transcendental*.

Ao contrário da psicologia e da teologia racional, a disciplina constituída pela ideia de mundo, a cosmologia racional, torna explícita uma incompatibilidade entre o racionalismo e o empirismo dogmático. Kant apresenta essa incompatibilidade no segundo capítulo do segundo livro da *Dialética transcendental* ao introduzir as antinomias da razão.

As antinomias são formadas por teses contraditórias e igualmente convincentes que são articuladas pela razão ao explicar questões cosmológicas fundamentais. A partir de cada tese é possível demonstrar a impossibilidade da tese oposta, criando assim um impasse para a razão que não é capaz de decidir sobre a veracidade das afirmações envolvidas. Segundo Kant esse impasse, se não resolvido, levaria a um ceticismo radical acerca das afirmações da razão e conseqüentemente ao que ele chama de “eutanasia da razão pura” (KrV, A407/B434).

A constituição das antinomias se deve ao duplo caráter, empírico e não empírico, da ideia de mundo. Segundo Allison (2004, p.360), por um lado, as ideias de alma e Deus são pseudorracionais, pois envolvem uma ilusão que se refere a um objeto não sensível. Por outro lado, a ideia de mundo é pseudoempírica, pois aparentemente se refere a um objeto da experiência. O mundo é tomado como a totalidade das aparências, configurando seu caráter empírico. Entretanto, a totalidade absoluta “já não é empírica pois não pode ser dada em experiência alguma” (KrV, A479/B507). Enquanto objeto empírico o mundo estaria submetido às condições de experiência. Por outro lado, enquanto ideias, ele extrapolaria tais condições. Ainda segundo Henry Allison (2004, p.360), é “precisamente a sua sujeição a essas

duas normas conflitantes que explica a dupla face da ilusão conectada com essa ideia”⁶². O duplo caráter das ideias cosmológicas permite a articulação das teses e das antíteses que são contraditórias, mas igualmente coerentes.

As quatro antinomias apresentadas por Kant correspondem aos quatro grupos de categorias: quantidade, qualidade, relação e modalidade. As quatro antinomias dizem respeito respectivamente aos limites espaciais e temporais do mundo, à constituição do mundo, à causalidade e à necessidade ou contingência do mundo. As teses são construídas a partir da extrapolação dos limites da experiência possível e, por isso, o conjunto das teses representa uma posição filosófica consistente, a saber, o racionalismo dogmático. As antíteses, por sua vez, se restringem aos objetos empíricos que, entretanto, são tomados como coisas em si. Assim as antíteses também representam uma posição filosófica, no caso, o empirismo dogmático. Dessa forma, Kant não se pronuncia a favor da veracidade nem das teses nem das antíteses das antinomias. O que ele pretende é “investigar se o seu objeto não é talvez uma mera fantasia” (KrV, A413/B451). A impossibilidade de demonstrar que uma das posições é correta evidencia o impasse provocado pela razão. Kant propõe uma solução através do “método cético” (KrV, A413/B451), que consiste em avaliar as pressuposições assumidas pelas teses e antíteses. Assim, através do método cético, Kant conclui que a oposição presente em todas as antinomias é provocada por uma ilusão transcendental associada à ideia de mundo. Ambas as posições assumem que a totalidade das coisas existe em si, independente das condições de possibilidade da experiência. Portanto, a filosofia transcendental não é um método capaz de resolver as antinomias, tomando partido das teses ou das antíteses, mas expõe a inadequação do conflito ao mostrar que as posições conflitantes são articuladas a partir do uso indevido da razão. O idealismo transcendental localiza a origem do conflito na própria razão.

Vamos nos ater à terceira antinomia porque ela aborda o aparente conflito entre a causalidade natural e a liberdade humana.

3.4 A TERCEIRA ANTINOMIA

62 “It is precisely its subjection to these two conflicting norms that accounts for the two-sidedness of the illusion connected with this idea.” (Allison, 2004, p.360)

A terceira antinomia está associada ao grupo de categorias da relação, mais especificamente, está relacionada à categoria causalidade. Tanto na tese quanto na antítese da terceira antinomia a causalidade é tomada como aquela definida na segunda analogia da experiência, ou seja, como um conceito *a priori* que nos permite estabelecer uma ordem temporal objetiva para as percepções.

A tese é assim enunciada: “A causalidade segundo leis da natureza não é a única a partir da qual os fenômenos do mundo possam ser deduzidos em seu conjunto. Para explicá-los é também necessário assumir uma causalidade por meio da liberdade” (KrV, A444/B472).

A antítese é enunciada nos seguintes termos: “Não há liberdade, e tudo no mundo acontece segundo leis da natureza” (KrV, A445/B473).

Nas demonstrações da tese e da antítese, Kant inicialmente admite a posição contrária e em seguida demonstra sua impossibilidade.

Na demonstração da tese ele assume que apenas a causalidade segundo as leis da natureza (causalidade natural) é possível. Assim todo evento A é causado por um evento anterior B que é sua causa, entretanto o evento B também é causado por um evento C e assim *ad infinitum*. Portanto, seria impossível identificar uma causa primeira para a série causal. Como a ideia de lei da natureza pressupõe que “nada acontece sem uma causa suficientemente determinada *a priori*” (KrV, A446/B474), a afirmação de que tudo ocorre segundo as leis da natureza não se sustentaria, pois não seria possível identificar a causa primeira.

Na demonstração da antítese Kant também admite inicialmente a posição contrária para em seguida reduzi-la ao absurdo, ou seja, assume a existência da liberdade transcendental como um tipo particular de causalidade. Essa causalidade é capaz de iniciar um estado de forma espontânea e, conseqüentemente, uma série causal decorrente desse estado. O início absoluto de uma série causal é uma causa não causada, um ato que não possui uma causa antecedente. Assim, segundo Kant, “a liberdade transcendental se contrapõe à lei causal, portanto, e essa ligação dos estados sucessivos de causas atuantes” (KrV, A447/B475). Como a unidade da experiência é definida a partir da “lei causal”, a prova da antítese leva à conclusão de que a ideia da liberdade transcendental é um pensamento vazio, sem conteúdo empírico.

A inconsistência entre as teses e as antíteses das antinomias é resultado do uso indevido da razão. Essa inconsistência torna explícita a necessidade de se estabelecer condições de

possibilidade para o conhecimento. Tanto os defensores das teses quanto os defensores das antíteses demonstram que a posição contrária é falsa. Segundo Robert Hanna (2006, p. 367):

A chave lógica para a solução das várias antinomias reside na distinção lógica entre proposições “contraditórias” e “contrárias”. Ambas são formas de inconsistência. Porém, enquanto duas proposições contraditórias não podem ser ambas falsas e não podem ser ambas verdadeiras, pois uma delas *deve* ser verdadeira, duas proposições contrárias não podem ser ambas verdadeiras, mas ambas *podem* ser falsas.⁶³

As provas das teses e das antíteses das antinomias incorrem, segundo Kant, no erro de aplicar seus princípios ao mesmo domínio. A solução para as antinomias é articulada no idealismo transcendental a partir da distinção entre dois domínios, a saber, o fenomênico e o numênico. No caso da terceira antinomia, tanto a tese quanto a antítese podem ser verdadeiras se aplicadas em âmbitos diferentes. A causalidade da natureza deve ser restrita à esfera fenomênica e a causalidade pela liberdade à esfera numênica. Como foi observado por Allison (1990, p.23), na terceira antinomia “a antítese não sustenta que a concepção de tal causa ou fundamento é autocontraditória, mas antes que ela conflita com as condições de experiência possível”.⁶⁴ Portanto, a tese pode ser verdadeira ao afirmar a causalidade pela liberdade na esfera numênica e a antítese pode ser igualmente verdadeira ao recusar a possibilidade da liberdade no âmbito fenomênico.

A causalidade mediante a liberdade não pode ser percebida pela experiência sensível, pois na esfera dos fenômenos todos os eventos possuem causa determinada. Nas palavras de Kant:

A liberdade é, neste sentido, uma ideia transcendental pura que, em primeiro lugar, nada contém extraído da experiência e cujo objeto, em segundo lugar, não pode ser dado de maneira determinada em nenhuma experiência, porque é uma lei geral, até da própria possibilidade de toda a experiência, que tudo o que acontece deva ter uma causa e, por conseguinte, também a causalidade da causa, causalidade que, ela própria, aconteceu ou surgiu, deverá ter, por sua vez, uma causa; assim, todo o campo da experiência, por mais longe que se estenda, converte-se inteiramente num conjunto de simples natureza (KrV, A533/B561).

63 “For Kant, the logical clue to the solution of the several antinomies lies in the logical distinction between “contradictories” and “contraries.” Both are forms of inconsistency. But whereas two contradictories cannot both be false and cannot both be true, so one of them must be true, two contraries cannot both be true, but both can be false.” (Hanna, 2006, p. 367)

64 “As we have also seen, however, the antithesis does not maintain that the conception of such a cause or ground is self-contradictory but rather that it conflicts with the conditions of possible experience.” (Allison, 1990, p. 23)

A consideração de que fenômenos são coisas em si é a origem do conflito entre tese e antítese. A limitação do domínio de atuação da causalidade natural à esfera fenomênica permite a Kant encontrar um espaço conceitual para a liberdade e a introdução do conceito de inteligível autoriza a interferência da causalidade livre no mundo dos objetos sensíveis (Cf. Klein, 2012, p. 561). Kant define como inteligível um aspecto não sensível de objetos da experiência (Cf. KrV, A538/B566). A aplicação dessa definição ao sujeito do mundo sensível permite a caracterização de um “sujeito duplo”, pertencente à esfera fenomênica devido às suas propriedades sensíveis, mas também pertencente à esfera numênica por seus aspectos inteligíveis, o que garante a possibilidade da liberdade. O sujeito, capaz de agir no mundo dos fenômenos, pode produzir ações que estarão submetidas à causalidade natural, como estão submetidos todos os fenômenos naturais, mas que simultaneamente foram determinadas por decisão livre do próprio sujeito.

A solução da terceira antinomia introduz na filosofia de Kant um agente que é simultaneamente detentor de um caráter empírico e de um caráter inteligível. O agente, segundo seu caráter empírico, estaria submetido à causalidade natural, portanto, suas ações possuiriam um grau de previsibilidade na série causal de eventos. Em contrapartida, segundo o seu caráter inteligível, o agente seria livre e suas escolhas seriam espontâneas. Mas como entender que as ações dos agentes seriam simultaneamente determinadas pela causalidade natural e pela liberdade? Como podemos atribuir efetivamente um duplo caráter a um único agente?

O problema da aparente incompatibilidade entre o caráter empírico e o caráter inteligível do arbítrio foi abordado por muitos comentadores de Kant. Na próxima seção analisaremos a interpretação proposta por Henry Allison para o duplo caráter do agente racional.

3.5 O CARÁTER EMPÍRICO E O CARÁTER INTELIGÍVEL DO ARBÍTRIO

Quando confrontado com o problema da aparente inconsistência entre a presença e atuação do agente no mundo fenomênico e a liberdade de seu arbítrio, Kant atribui ao agente um o caráter inteligível e um caráter empírico. A causalidade associada ao caráter empírico

deve respeitar as condições de possibilidade da experiência, enquanto o caráter inteligível (não sensível) não está submetido às regras da segunda analogia da experiência. Consideremos inicialmente o caráter empírico do arbítrio.

3.5.1 O CARÁTER EMPÍRICO

Uma vez que as ações humanas produzem consequências na esfera fenomênica, elas devem ser explicadas através de uma causalidade eficiente. O caráter empírico do arbítrio permite assim uma investigação causal da atuação do agente, cujas ações e escolhas são previsíveis em um certo grau. As expectativas acerca do comportamento de um indivíduo são construídas naturalmente no convívio social e derivadas do caráter previsível das decisões humanas. Nessa construção, assumimos que os desejos, as inclinações e as crenças de um indivíduo são os fatores responsáveis pela previsibilidade de seu comportamento. Reconhecemos tais fatores como causas de suas escolhas e de suas ações. Esse procedimento construtivo é feito em conformidade com a causalidade empírica, apresentada por Kant na segunda analogia da experiência. Sob essa perspectiva concebemos o agente através do seu caráter empírico do arbítrio.

As ações entendidas através do caráter empírico não são livres. Elas são previsíveis e subordinadas à causalidade empírica ou da natureza. Na primeira *Crítica* Kant defende um determinismo psicológico no campo empírico. Em suas palavras:

Como esse caráter empírico tem de ser ele mesmo, com efeito, derivado dos fenômenos a partir da regra dos mesmos, que é fornecida pela experiência, então todas as ações humanas no fenômeno são determinadas, segundo a ordem da natureza, a partir de seu caráter empírico e das demais regras concomitantes; e se nós pudéssemos investigar todos os fenômenos de seu arbítrio até o fundamento, não haveria uma única ação humana que não pudéssemos prever com segurança e conhecer como necessária a partir de suas condições precedentes. (KrV, A549-550/B577-578)

Os desejos, as inclinações e as crenças seriam fatores psicológicos que determinariam as ações de um indivíduo. A tese sobre a natureza determinista do comportamento humano introduz dificuldades interpretativas na teoria kantiana. Vale destacar que o determinismo psicológico defendido por Kant não está baseado na concepção reducionista frequentemente

adotada de que a psicologia seria reduzida a relações físicas mais básicas. Para Kant, as causas seriam de fato fatores psicológicos como crenças, desejos e intenções.

A tese sobre a natureza determinista do comportamento humano é, a princípio, incompatível com o texto posterior apresentado na segunda parte da *Crítica da faculdade de julgar* que aborda os juízos teleológicos. Nesse texto de sua terceira *Crítica*, Kant defende que a causalidade mecanicista não seria capaz de descrever o funcionamento dos organismos vivos. A biologia é considerada como um campo que não pode ser reduzido a princípios mecânicos da natureza. Nas palavras de Kant:

É inteiramente certo que não podemos, segundo meros princípios mecânicos da natureza, conhecer suficientemente os seres organizados e sua possibilidade interna, muito menos explicá-los; e tão certo, com efeito que se pode dizer sem hesitação que é absurdo para seres humanos sequer conceber esse projeto, ou esperar que possa surgir um Newton capaz de explicar a geração de um talo de grama que seja segundo leis naturais. (KU, AA 05: 400)

Nesse sentido, as propriedades psicológicas e biológicas dos seres humanos devem ser pensadas sob uma perspectiva diferente daquela que é proposta para a física. O comportamento humano seguiria uma causalidade segundo a finalidade, e não a causalidade natural determinista apresentada na Segunda Analogia da *Crítica da razão Pura*. Essa distinção entre a causalidade natural e aquela associada aos organismos vivos torna explícita a incompatibilidade entre a visão determinista do comportamento humano e aquela apresentada na terceira *Crítica*.

Outra dificuldade surge quando Kant relaciona o caráter empírico do arbítrio à razão. No texto da solução do conflito cosmológico da terceira antinomia, Kant afirma que “todo o homem tem um caráter empírico de seu arbítrio, que não é outro senão uma certa causalidade de sua razão” (KrV, A549/B577). Entretanto, a razão é antes de tudo, na doutrina kantiana, uma faculdade livre, não submetida ao determinismo causal dos objetos da sensibilidade. Assim, surge naturalmente a questão de como explicar a possibilidade de um caráter empírico de algo que é não sensível. Segundo Allison (1990, p. 31), a questão pode ser resolvida se o caráter empírico for interpretado como uma manifestação sensível do caráter inteligível, isto é, como sua expressão fenomênica. O caráter empírico do arbítrio pode ser objeto do conhecimento, pois respeita regularidades necessárias para tal caracterização. Consequentemente as ações dos agentes racionais são previsíveis segundo a perspectiva

empírica. Apesar disso, o caráter inteligível não é um objeto do conhecimento. A real natureza de um elemento inteligível não pode ser inferida de sua manifestação empírica.

Podemos afirmar que o caráter empírico do arbítrio é uma causalidade da razão, pois, segundo Kant, “esta mostra em seus efeitos no fenômeno uma regra segundo a qual se pode inferir os fundamentos e as ações da razão no que diz respeito a seu tipo e seus graus, e julgar os princípios subjetivos de tal arbítrio” (KrV, A549/B577). Assim, o caráter empírico do arbítrio é uma disposição de agir com base em princípios e regras subjetivas. Esses princípios e regras subjetivas de um agente podem ser conhecidos através da regularidade de suas ações.

A partir da concepção do caráter empírico do arbítrio construída na primeira *Crítica*, Kant poderia adotar uma solução compatibilista para o problema do livre-arbítrio, seguindo Hume, Hobbes e Locke. De acordo com a perspectiva compatibilista clássica do século XVIII, o livre-arbítrio é a liberdade de escolha sem a imposição de restrições, coerções ou compulsões. As escolhas que têm como causas os desejos, os impulsos e as crenças são consideradas como escolhas livres pelos compatibilistas, mesmo que os desejos, os impulsos e as crenças sejam resultados de determinações causais anteriores. Portanto, se a liberdade é concebida dessa forma superficial não há incompatibilidade entre determinismo e livre-arbítrio.

Kant, entretanto, não adota uma solução compatibilista. Ele entende que a liberdade associada ao livre-arbítrio deve ser de caráter mais restrito e não pode ser causada por fatores psicológicos nem físicos. A liberdade deve ser assim absolutamente espontânea. Os eventos passados e as leis da natureza não são suficientes para determinar o arbítrio, que deve ser entendido como uma causa não causada. Assim, torna-se necessária a introdução da noção de caráter inteligível do arbítrio, que não é submetido à causalidade da natureza.

3.5.2 O CARÁTER INTELIGÍVEL

O argumento usual para justificar a necessidade da introdução do caráter inteligível do arbítrio na teoria kantiana é que sob a perspectiva empírica a ação moral não seria possível. O agente seria compelido a escolher de acordo com suas inclinações e desejos e não como um ato espontâneo da vontade. O determinismo causal manifestado na psicologia

empírica kantiana tornaria toda ação, quando considerada sob a perspectiva dos fenômenos, um efeito inevitável de fatores psicológicos, segundo regras da causalidade apresentada na segunda analogia da experiência. Portanto, segundo essa interpretação, a única maneira de resgatar a possibilidade da escolha de acordo com a regra moral seria a introdução de uma causalidade pela liberdade. O agente, sob uma perspectiva numênica, poderia ser pensado como não determinado pela causalidade empírica, assim, capaz de escolher segundo o imperativo categórico. Deveria assim ser atribuído ao arbítrio de um agente racional, além do caráter empírico, também um caráter inteligível, que não seria dado à sensibilidade e, portanto, estaria livre das imposições da causalidade empírica. Em resumo, segundo essa interpretação, Kant não adota uma solução compatibilista para o problema do livre-arbítrio porque supõe que as explicações empíricas acerca das escolhas humanas seriam dadas por teorias deterministas, que consideram os agentes como escravos de suas inclinações e desejos. Assim, o caráter inteligível do arbítrio seria uma ferramenta teórica que tornaria possível uma filosofia moral. Dentre os adeptos dessa interpretação citamos Terence Irwin (1984) e Allen Wood (1984)

Allison (1990) discorda desta interpretação. Ele defende que tanto as escolhas de acordo com a regra moral (imperativo categórico) quanto as escolhas segundo algum fim (imperativos hipotéticos) são resultados da espontaneidade da razão. Seria um equívoco considerar que Kant introduz a ideia de liberdade na primeira *Crítica* para explicar as escolhas segundo a regra moral e em oposição as escolhas segundo os desejos e inclinações. Tal interpretação encontra ressonância na seguinte passagem:

Quer se trate de um objeto da mera sensibilidade (o agradável), quer da razão pura (o bem), a razão não cede ao fundamento que é dado empiricamente, nem seguem a ordem das coisas tal como se apresentam no fenômeno, mas para si, com total espontaneidade, uma ordem própria segundo as ideias, na qual acomoda as condições empíricas, e a partir da qual ela declara como necessárias até mesmo ações que *ainda não aconteceram*, e talvez nem venham a acontecer, mas de todas as quais se pressupõe, ainda assim, que a razão possa ter causalidade em relação a elas, pois sem isso ela não poderia ter efeitos de suas ideias na experiência. (KrV, A548/B576).

Um segundo ponto defendido por Allison (1990, p. 36) contra a interpretação de Wood é a função epistêmica da espontaneidade apresentada na primeira *Crítica*. Antes de

representar seu papel na filosofia moral, a espontaneidade da razão é colocada como um elemento essencial em sua filosofia teórica.

Kant considera que é a sensibilidade que fornece os dados empíricos através da intuição. Entretanto, em oposição à tese empirista, acrescenta que é papel do entendimento sintetizar o diverso dado pela intuição através de suas categorias *a priori*. A síntese do entendimento, que um processo intelectual de unificação do diverso em um conceito, é uma atividade espontânea dessa faculdade superior. A atividade de julgar, própria ao entendimento, pode ser representada, de maneira simplificada, por uma afirmação do tipo: “x” é “F”. Em um juízo “x” é relacionado a “F” de forma espontânea e consciente. O indivíduo é consciente de sua atividade de julgar, esta autoconsciência é denominada por Kant de apercepção (ou “eu penso”). A apercepção não é um objeto da intuição, mas sim uma representação intelectual da espontaneidade do sujeito. Assim, não podemos identificar a apercepção com um tipo de autoconhecimento pois um conhecimento requer dados da sensibilidade.

Na teoria kantiana um agente racional é capaz de deliberar. Suas decisões envolvem pressuposições, juízos e considerações, que são expressões da espontaneidade. Além disso, são também representações estritamente inteligíveis e não objetos da experiência. Dessa forma, a espontaneidade do agente racional está intrinsecamente associada ao seu caráter inteligível. Essa associação justifica a necessidade da introdução do caráter inteligível do arbítrio na concepção das atividades dos agentes racionais.

No âmbito de sua filosofia prática a deliberação também é um elemento central. A decisão de agir segundo a regra moral ou de acordo com os imperativos hipotéticos é a conclusão do processo deliberativo do sujeito. Mesmo quando o agente racional decide agir segundo suas inclinações, Kant não considera que elas são causas diretas da decisão. No processo espontâneo de deliberação o agente toma um desejo ou inclinação como motivo de sua ação. Assim, ele pode ser considerado moralmente responsável por suas escolhas.

A causalidade associada ao caráter empírico não é suficiente para determinar o arbítrio do agente racional. O processo de deliberação presente nas ações não pode ser explicado através das causas naturais, é um processo meramente inteligível. Para que um impulso seja convertido em ação, este deve ser incorporado pelo agente racional. Essa é a ideia central da “tese da incorporação”, que passamos a expor a seguir.

3.6 A TESE DA INCORPORAÇÃO

Kant apresenta essa tese explicitamente na seguinte passagem do texto *A religião nos limites da simples razão*: “a liberdade de vontade [*Willkur*] é de natureza totalmente única, na medida em que um incentivo pode determinar a vontade de uma ação somente se o indivíduo a incorporou em sua máxima” (RGV, AA 06: 23).

Apesar de ser enunciada na obra *A Religião nos Limites da Simples Razão* em meio a argumentações sobre sua filosofia moral, a tese da incorporação deve ser aplicada a todo tipo de arbítrio, mesmo aqueles que não são de cunho moral.

Segundo Allison, a tese da incorporação deve ser entendida como a explicação da relação entre os motivos e as decisões dos agentes racionais. A tese nos permite identificar claramente o agente racional como *arbitrium liberum* em oposição ao *arbitrium brutum*. Kant havia estabelecido essa distinção entre dois tipos de arbítrios na solução que deu à terceira antinomia: “O arbítrio humano é, sem dúvida, um *arbitrium sensitivum*, mas não *arbitrium brutum*; é um *arbitrium liberum* porque a sensibilidade não torna necessária a sua ação e o homem possui a capacidade de determinar-se por si, independentemente da coação dos impulsos sensíveis”. (KrV, A534/B562)

No *arbitrium brutum*, os estímulos da sensibilidade são causas das ações, o agente é determinado pelos fatores psicológicos. Allison (1996, p.130) dirá que “esse sujeito é, portanto, mais adequadamente caracterizado como paciente e não como agente”⁶⁵. Por outro lado, no *arbitrium liberum*, as inclinações e desejos não são causas diretas das ações. O agente racional delibera e decide espontaneamente incorporar os motivos. Ainda que seja sensível aos desejos e inclinações, o agente não é submetido à necessidade de agir de acordo com esses elementos psicológicos. A causa da ação é a incorporação do motivo, isto é, o agente escolhe assumir um motivo como máxima e age em conformidade com o mesmo. Ainda que o sujeito decida agir conforme o desejo, a ação é causada pela incorporação do desejo como motivo suficiente para a ação. Esse processo da razão é deliberativo e espontâneo: “consequentemente, ao agir de acordo com o desejo, também estou me comprometendo com essa regra, e esse compromisso deve ser visto como um ato de espontaneidade da minha parte (de autodeterminação, se você preferir), que não é redutível ao mero desejar” (Allison, 1996, p. 131)⁶⁶.

65 “Such a subject is, therefore, more properly characterized as a patient rather than an agent” (Allison, 1996, p.130)

66 “Consequently, in acting on the desire, I am also committing myself to that rule, and such a commitment must be viewed as an act of spontaneity on my part (of self-determination, if you will), which is not reducible to the mere having of the desire” (Allison, 1996, p. 131)

Outro aspecto importante é o papel essencial da ideia da liberdade transcendental na constituição da tese da incorporação. A decisão do agente racional decorre da incorporação de uma regra. Esse processo requer uma espontaneidade absoluta e não uma espontaneidade relativa (*spontaneitas secundum quid*), característica do conceito da liberdade psicológica. A incorporação, nos diz Allison (1996), “requer uma capacidade de se determinar para agir independentemente da causalidade da natureza, uma capacidade que só pode ser pensada sob a perspectiva da ideia transcendental da liberdade” (p. 132)⁶⁷.

Um paralelo entre a espontaneidade na razão prática e na razão teórica pode ser traçado. Na primeira *Crítica* Kant destaca o papel do entendimento na ordenação temporal das percepções empíricas e conseqüentemente na constituição dos fenômenos. A ordem subjetiva em que as representações empíricas são apreendidas pela sensibilidade não é suficiente para determinar o fenômeno. A percepção do objeto “B” antes do objeto “A” não nos impõe a conclusão de que “B” é causa de “A” ou de que o fenômeno aconteceu segundo essa ordem. A faculdade do entendimento ordena espontaneamente as representações de acordo com o princípio de causalidade e constitui assim o fenômeno. O caráter espontâneo desta tarefa cognitiva de ordenação é devido a sua independência com relação às determinações empíricas.

No âmbito da razão prática a espontaneidade garante a possibilidade da liberdade. O agente racional delibera, avalia e incorpora um motivo a uma regra espontaneamente. Portanto, pensar o agente como racional implica em pensar um agente livre.

A concepção de que arbítrio de um agente possui um caráter empírico e um caráter inteligível não é livre de controvérsias. Uma dificuldade surge devido ao conflito entre o determinismo (vinculado ao caráter empírico) e a liberdade (derivada do caráter inteligível). Cada ação do agente parece ser simultaneamente livre e causada por eventos anteriores.

Essa dificuldade torna-se mais grave, se a causalidade é considerada como uma condição ontológica. Devemos admitir que se uma ação humana é determinada por relações causais, então essa determinação deve ser válida para todas as possíveis descrições. Assim, não seria possível conciliar uma descrição causal e uma descrição numênica para o mesmo evento. Portanto, a interpretação da causalidade como condição ontológica na teoria kantiana agrava a dificuldade para o entendimento do duplo caráter do arbítrio humano.

67 “requires a capacity to determine oneself to act independently of the “causality of nature,” a capacity which can be thought only in light of the transcendental idea of freedom.” (Allison, 1996, p. 132)

Vejamos como a interpretação dos “dois aspectos” de Allison contorna essa dificuldade.

3.6.1 A INTERPRETAÇÃO DOS “DOIS ASPECTOS” E A TESE DA INCORPORAÇÃO

A solução de Allison para essa dificuldade é interpretar a causalidade em Kant como uma condição epistêmica e não ontológica. Nas descrições empíricas os fenômenos estão sujeitos à temporalidade e, portanto, também estão submetidos à determinação causal. De acordo com essa descrição empírica, o arbítrio humano não é livre. Ele é um elemento inserido em uma cadeia causal. Entretanto, o idealismo transcendental oferece a possibilidade da inserção de um espaço conceitual de representações não empíricas. Nesse caso, as ações humanas podem ser pensadas como livres.

Kant considera que somos conscientes de que nossas ações não são empiricamente determinadas e de que podemos escolher contra as inclinações e de acordo com o imperativo categórico. Atribuímos a nós mesmos essa capacidade. Consideramos que as relações causais empíricas não são suficientes para determinar as escolhas humanas. A liberdade seria, portanto, uma ideia transcendental excêntrica. Através dela pensamos o caráter inteligível do arbítrio, que pertence à esfera numênica, não sendo assim submetido à causalidade dos fenômenos. Porém, o caráter inteligível possui um conteúdo empírico, a saber, a ação humana que se manifesta no mundo. O idealismo transcendental nos permite articular uma solução para essa aparente inconsistência, afirmando que a consciência do caráter não empírico do arbítrio tem uma função apenas regulativa. Assim, não se deve atribuir a tal consciência o estatuto de conhecimento legítimo. Se o intelecto fosse restrito aos juízos determinantes, isto é, aos enunciados que expressam o que pode ser conhecido sobre os agentes racionais, estaríamos fadados a descrever o ser humano como determinado pela causalidade e não haveria espaço para a liberdade. O agente seria concebido apenas segundo seu caráter empírico. O idealismo transcendental cria assim um espaço conceitual para a concepção de juízos que se referem a objetos não empíricos, que não podem ser considerados como conhecimento legítimo e que desempenham um papel essencial na filosofia kantiana, notadamente em sua filosofia prática.

Outra dificuldade para a conciliação entre o caráter empírico e o caráter inteligível surge a partir da interpretação de que Kant defenderia a presença de uma causalidade atemporal relacionada ao caráter inteligível. Essa interpretação implica na concepção de agentes racionais com caráter atemporal. Como os seres humanos são identificados como agentes racionais na filosofia kantiana, essa interpretação é naturalmente paradoxal, pois as decisões e ações humanas se manifestam temporalmente e por isso não poderiam ser determinadas por causas atemporais. Alisson destaca três passagens da primeira crítica em que Kant parece defender tal posição paradoxal. São elas:

Na medida, contudo, em que pode ser atribuída ao modo de pensamento como sua causa, a ação não acontece a partir dele segundo leis empíricas, i.e., como se fosse antecedida pelas condições da razão pura, mas sim de tal modo que seus efeitos a antecedam no fenômeno do sentido interno. Como uma faculdade meramente inteligível, a razão pura não está submetida à forma do tempo nem, portanto, às condições da sequência do tempo. A causalidade da razão no caráter inteligível não surge ou se inicia em um certo tempo para produzir um efeito. Pois nesse caso ela estaria ela própria submetida às leis naturais dos fenômenos, já que esta determina séries causais no que diz respeito ao tempo; e a causalidade seria então natureza, não liberdade. (KrV, A551-52/B579-80)

No que diz respeito a razão, porém, não se pode dizer que aquele estado em que ela determina o arbítrio seja precedido por um outro em que tal estado seja ele mesmo determinado. Pois, uma vez que a razão não é ela própria um fenômeno e não está submetida a condições da sensibilidade, não há nela nenhuma série temporal relativa à sua causalidade, e portanto, a lei dinâmica da natureza, que determina a série temporal segundo regras, não pode aplicar-se a ela. (KrV, A553/B581)

Ela, a razão, está presente, e é sempre a mesma, em todas as ações do ser humano, em todas as circunstâncias temporais, mas não está ela própria no tempo, nem cai em um estado novo em que antes não estava; ela é determinante, mas não determinável em relação a tal estado. (KrV, A556/B584)

A razão é considerada como detentora de eficiência causal, mas seu aspecto atemporal também é destacado. As ideias e os princípios da razão são objetos que permanecem imutáveis, pois não são submetidos às condições da sensibilidade. Assim, ao considerar que a razão é a causa do arbítrio do agente racional, Kant parece corroborar a tese de que o arbítrio do agente é determinado por uma causa atemporal. Como as decisões e ações humanas acontecem no espaço e no tempo (e por isso não poderiam ser efeitos por uma causa

atemporal), essa tese impede a identificação do ser humano com um agente racional. Assim, as diversas passagens em que Kant argumenta nessa direção, se interpretadas de maneira literal, parecem incoerentes com a tentativa de explicar a agência humana.

Allison interpreta as afirmações de Kant sobre a eficiência causal da razão como metáforas. Kant estaria afirmando que a ação do agente racional seria de acordo com algum princípio da razão, mas que ela não possuiria de fato poder causal. Este seria um atributo que pertenceria aos agentes capazes de escolher segundo os imperativos hipotéticos ou categóricos.

Segundo Allison, uma interpretação mais adequada deve evitar atribuir eficiência causal aos objetos atemporais, impedindo assim a conclusão de que os agentes racionais poderiam ser de alguma forma atemporais. Entretanto, tal interpretação deve ser consistente com a noção de que as ações livres são resultado de algum tipo de causalidade. Em seus textos, Kant menciona inúmeras vezes o conceito de causalidade pela liberdade quando se refere à agência humana. Portanto, uma interpretação que considerasse o arbítrio como gerado por um processo não causal seria incompatível com a própria concepção kantiana de causalidade pela liberdade.

Uma interpretação adequada pode ser desenvolvida a partir da tese da incorporação. Consideremos inicialmente as ações conforme as inclinações e os desejos. A análise de tais ações, sob a perspectiva da tese da incorporação, revela que os motivos por si só não são suficientes para determinar a ação. Desejos e inclinações não são causas eficientes. Para a realização da ação é necessária a incorporação dos motivos pelo agente. As ações segundo o imperativo categórico também são construídas a partir dos motivos. Entretanto, no caso da ação moral, os motivos são unicamente os princípios da razão. Em analogia aos desejos e inclinações, os princípios da razão não são causas eficientes da ação. No processo de incorporação, os princípios são tomados como motivos para a realização da ação. Segundo Allison (1990, p.51), “na verdade, o ato de incorporação é concebido como o genuíno fator causal”. Assim a incorporação seria a causa eficiente para a ação, enquanto a razão apenas forneceria ideias e princípios que podem ser incorporados como motivos para a realização da ação. O ato de incorporação é apenas pensado (ou pressuposto), não é um objeto da experiência. Dessa forma, a incorporação de um motivo para a realização de uma ação é uma causa inteligível. Por isso ela pode ser caracterizada como espontânea, livre da causalidade natural que é peculiar aos fenômenos.

Deve-se, no entanto, distinguir a tese da independência do arbítrio frente ao princípio da causalidade da afirmação sobre o caráter atemporal de um agente racional. A primeira se refere à capacidade do agente de iniciar uma série causal de maneira espontânea, sem se submeter à determinação de causas anteriores. Entretanto, o início da série seria localizado no tempo, sendo posterior a determinados eventos e anterior a outros, mas não seria causado por eventos anteriores. É um início apenas “quanto à causalidade”. A segunda diz respeito à atribuição de eficiência causal aos princípios e ideias da razão que são atemporais. O agente racional possuiria assim um caráter atemporal do arbítrio e isso é incompatível com a tese da incorporação. Kant discute a diferença entre essas duas ideias na nota da terceira antinomia através da distinção entre início “quanto ao tempo” e início “quanto à causalidade”.

Não se deve contudo deixar que um mal-entendido nos detenha aqui, a saber, o de achar que, porque uma série sucessiva no mundo só pode ter um primeiro começo comparativo, já que sempre lhe antecede um estado das coisas no mundo, não seria possível um primeiro começo absoluto das séries durante o curso do mundo. Pois aqui não falamos de um primeiro começo absoluto segundo o tempo, mas sim segundo a causalidade. (KrV, A450/B478)

O filósofo apresenta o exemplo da ação de se levantar de uma cadeira espontaneamente. Nesse caso, a cadeira e o indivíduo que realiza a ação estão situados espaçotemporalmente. Diversos eventos no mundo antecedem a ação, entretanto, nenhum deles é causa suficiente para determiná-la. O indivíduo, através de seu arbítrio, inicia uma nova série causal, ainda que, como esclarece Kant, “esse acontecimento seja apenas, segundo o tempo, a continuação de uma série precedente” (KrV, A450/B478). Assim, segundo a teoria da liberdade de Kant, em uma abordagem científica acerca do comportamento humano o agente não pode ser pensado como se fosse livre. O caráter empírico do arbítrio é incompatível com a possibilidade da liberdade. Sob essa perspectiva, as ações e decisões do agente estão submetidas ao princípio da causalidade, portanto, são previsíveis. Não há espaço para a liberdade, ainda que de maneira hipotética.

A inclusão da liberdade do arbítrio como hipótese na demonstração da desigualdade de Bell é um caso não usual no campo das ciências naturais. Na próxima seção faremos uma análise do uso dessa hipótese sob a perspectiva da filosofia de Kant.

3.7 A SOLUÇÃO KANTIANA PARA O *LOOPHOLE* DA INDEPENDÊNCIA DAS MEDIÇÕES

A teoria da agência de Kant é parte de um programa filosófico amplo e ambicioso conhecido como idealismo transcendental. De forma geral, a base desse programa kantiano é a tese de que o espaço e o tempo não existem de forma independente como coisas em si. Eles, enquanto formas puras da intuição sensível, são os elementos constituintes formais da nossa capacidade de perceber os objetos empíricos. Nesse sentido, a teoria da agência de Kant está associada a uma série de doutrinas que caracterizam nossas representações sobre os objetos do mundo e nosso entendimento sobre eles.

Defendemos nesta tese que a teoria da agência de Kant é a mais adequada para solucionar o *loophole* da independência das medições. Por um lado, a adoção dessa teoria como solução para o *loophole* exige um compromisso mais amplo com o idealismo transcendental e, conseqüentemente, com todas as dificuldades interpretativas que acompanham essa doutrina filosófica. Por outro lado, de modo mais específico, a teoria da agência de Kant implica o compromisso com duas teses que são fundamentais para a solução do *loophole*. A primeira é defesa de que as ações do agente são livres. Como foi discutido no capítulo 2, essa possibilidade não é exclusiva da teoria de Kant. A segunda possibilidade é a de assegurar que a ação da variável oculta seja circunscrita a uma série causal que não contém o agente.

No teorema de Bell, as restrições impostas sobre a variável oculta são mínimas. Ela, considerada como uma grandeza física, é uma variável desconhecida que não foi considerada na teoria quântica e que poderia resgatar certos princípios da física clássica. O próprio nome usado para se referir a essa variável indica que suas características específicas são desconhecidas. Não há hipóteses sobre quais seriam os elementos que estariam sob sua influência, e tampouco existem considerações sobre seus mecanismos de interação com os objetos empíricos. Sua adoção teórica concede generalidade ao teorema de Bell, porém torna mais complexa a abordagem do *loophole* da independência das medições.

Para solucionar o *loophole* é necessário assegurar a independência do agente frente a uma influência desconhecida. Portanto, a primeira etapa da solução consiste em definir o

domínio de influência da variável oculta. A segunda etapa corresponde à construção de um espaço conceitual para a liberdade de agentes que escolhem as direções das medições em um experimento de Bell. Entendemos que a teoria da agência kantiana oferece os mecanismos para a construção da primeira e segunda parte da solução do *loophole*. Na próxima seção a primeira etapa da solução será elaborada.

3.8 A CAUSALIDADE NATURAL E A VARIÁVEL OCULTA

Nesta seção defendemos a tese de que, sob a perspectiva kantiana, as variáveis ocultas seriam objetos contidos no domínio dos fenômenos. Mostramos que a teoria de Kant oferece elementos que permitem a distinção clara entre o domínio do agente racional, que realiza as medições em um experimento de Bell, e as supostas variáveis ocultas.

A causalidade natural, característica do domínio fenomênico, é, como vimos na seção 3.1, definida como a segunda analogia da experiência que compõe o sistema de princípios do entendimento puro, núcleo central da *Crítica da razão pura*.

Os objetos empíricos são dados no espaço e no tempo e estão sujeitos a modificações. Essas modificações estão submetidas ao princípio da causalidade definida na segunda analogia da experiência. A causalidade natural regula tanto as causas quanto os efeitos correspondentes às modificações. Segundo as hipóteses do teorema de Bell, a variável oculta governaria a evolução temporal (as modificações) das partículas enviadas aos laboratórios. Assim, sob uma perspectiva kantiana, as variáveis ocultas estariam submetidas à causalidade natural.

O princípio da causalidade formulado na teoria de Kant naturalmente se refere à causalidade determinista. O filósofo escreve sob a influência da recém-formulada mecânica newtoniana, com seu caráter estritamente determinista. Além disso, o desenvolvimento da teoria de probabilidade é posterior a obra de Kant. Assim, uma objeção pode ser levantada contra a inserção da variável oculta no domínio fenomênico kantiano. Na segunda versão do teorema de Bell, publicada em 1976, a influência da variável oculta sobre os resultados das medidas é probabilística, e não mais determinista como na primeira versão. Portanto, sob a

óptica da filosofia kantiana, não seria possível caracterizar a variável oculta como um objeto da esfera fenomênica.

Para superar essa objeção argumentamos que é possível abandonar o princípio associado ao determinismo, e ainda assim manter os elementos da teoria kantiana que permitem assegurar a independência das medições no experimento de Bell. Esses elementos essenciais para a solução do *loophole* são a liberdade do agente e distinção entre númeno e fenômeno.

3.8.1 AS VARIÁVEIS OCULTAS NA ESFERA FENOMÊNICA

Voltemos à objeção de que sob a óptica da filosofia kantiana não seria possível caracterizar a variável oculta como um objeto da esfera fenomênica. Essa objeção pode ser superada se incorporarmos a dissociação entre o determinismo e a causalidade proposta por Grete Hermann. Ao adotar essa posição, podemos preservar o conceito de causalidade associado ao princípio da razão suficiente. Em outras palavras, a solução de Hermann isola a noção de causalidade associada à relação entre as percepções. Assim, as regras causais organizam e constituem a experiência e permitem a construção do conhecimento objetivo. Segundo essa concepção de causalidade, o conhecimento científico não seria possível se as relações entre causas e efeitos fossem meras regras e associação. Dessa forma, Hermann preserva o princípio que torna possível a experiência objetiva, sem fazer uso de uma noção estritamente determinista da relação entre causa e efeito.

Ao adotar a estratégia de Hermann devemos avaliar quais são as implicações, na filosofia de Kant, do abandono da noção de causalidade determinista. Mais especificamente, devemos avaliar se os elementos da teoria kantiana que permitem a solução do *loophole* da independência das medições são afetados pela solução de Hermann. A solução kantiana para o *loophole* proposta nesta tese está baseada na distinção entre númeno e fenômeno e no livre-arbítrio do agente. Assim, devemos assegurar que ambas as hipóteses sejam preservadas diante da dissociação entre determinismo e causalidade proposta por Hermann.

Para avaliar um eventual impacto da proposta de Hermann na distinção kantiana entre númeno e fenômeno, podemos considerar a terceira antinomia da Dialética Transcendental. Tanto no enunciado quanto na solução da terceira antinomia Kant opera com o conceito de causalidade. Como foi citado na seção 3.4, a tese da terceira antinomia é assim

enunciada: “A causalidade segundo leis da natureza não é a única a partir da qual os fenômenos do mundo possam ser deduzidos em seu conjunto. Para explicá-los e também necessário assumir uma causalidade por meio da liberdade” (KrV, A444/B472). A antítese é enunciada da seguinte forma: “Não há liberdade, e tudo no mundo acontece segundo leis da natureza” (KrV, A445/B473). Kant não explora o caráter determinista da causalidade na tese nem na antítese. Se assumirmos como probabilísticas a “causalidade” ou as “leis da natureza” que são citadas nos enunciados, a antinomia seria preservada. A noção de causalidade presente na demonstração da tese e da antítese deve ser compatível com a ideia de que “nada acontece sem uma causa suficientemente determinada *a priori*” (KrV, A446/B474). Em outras palavras, a noção de causalidade usada na terceira antinomia é idêntica ao princípio da razão suficiente. Essa é a concepção de causalidade adotada por Hermann.

A possibilidade da liberdade do agente racional é um resultado indireto da solução da terceira antinomia. Assim, segundo a argumentação elaborada no parágrafo anterior, a liberdade do agente formulada pela teoria kantiana também é compatível com a concepção de causalidade adotada por Hermann.

Em suma, a substituição da noção de causalidade determinista por uma não determinista preserva as hipóteses kantianas da liberdade do agente e da separação entre nùmeno e fenômeno. Conclui-se, portanto, que o domínio fenomênico pode ser estendido e incluir os objetos que se relacionam através da causalidade probabilística. Retomando a solução kantiana para o *loophole* da independência da medição, a estratégia de Hermann permite que a variável oculta seja classificada como um objeto da esfera fenomênica, ainda que a relação entre ela e outros objetos seja governada por regras causais probabilísticas.

Entendemos que a argumentação apresentada nesta seção é suficiente para a objeção de que, sob a óptica da filosofia kantiana não seria possível caracterizar a variável oculta como um objeto da esfera fenomênica. Assim, estaria cumprida a primeira etapa para a solução do *loophole*, que consiste em definir o domínio de influência da variável oculta. Na seção seguinte a segunda etapa da solução é abordada. Ela corresponde à construção de um espaço conceitual para a liberdade dos agentes que escolhem as direções das medidas em um experimento de Bell. Eles devem ser imunes à influência da variável oculta, mas simultaneamente devem possuir efetividade causal.

3.9 A CAUSALIDADE PELA LIBERDADE

A filosofia transcendental fornece os elementos necessários para assegurar a independência entre o agente que escolhe as direções de medida em um experimento de Bell, sujeito à causalidade transcendental, como vamos ver a seguir, e a variável oculta, circunscrita ao domínio dos fenômenos e, portanto, à causalidade natural. Nesta seção defendemos que a tese da incorporação proposta por Allison sobre a teoria da agência de Kant permite a construção da segunda etapa da solução do *loophole* da independência das medições. Apresentaremos os três principais aspectos da tese da incorporação que tornam o tipo de liberdade associada a ela suficiente para solucionar o *loophole*.

O primeiro aspecto a ser destacado diz respeito à liberdade do agente em todas as suas ações. Em geral, as teorias libertarianistas abordam as decisões do agente diante de questões morais com o intuito de assegurar a liberdade de escolha e, conseqüentemente, a responsabilidade moral. A questão central tratada nesta tese não é de fundo moral. Um eventual experimento de Bell no qual as direções das medições são decididas por agentes racionais não envolve necessariamente dilemas morais. Assim, para solucionar o *loophole* da independência das medições, a teoria da agência deve apenas assegurar que todas as ações sejam livres. A tese da incorporação cumpre essa necessidade. Ao comentar a passagem do texto “*A religião nos limites da simples razão*” (RGV, AA 06: 23) em que Kant apresenta explicitamente a tese da incorporação, Allison afirma:

Primeiro, embora Kant o introduza em conexão com a explicação de seu "rigorismo" (a alegação de que toda ação e agente deve ser julgado bom ou mau - a doutrina da bivalência moral) e sugira que é de grande significado para a moralidade, na verdade, equivale a uma afirmação sobre a agência racional em geral. O próprio Kant indica isso afirmando que se aplica a todo incentivo, "seja ele qual for", implicando assim que abrange ações motivadas por inclinação, bem como considerações puramente morais. (1996, p.130)⁶⁸

68 “There are at least three aspects of this thesis that need to be emphasized. First, although Kant introduces it in connection with the explication of his "rigorism" (the claim that every action and agent must be judged either good or evil - the doctrine of moral bivalence) and suggests that it is of great significance to morality, it actually amounts to a claim about rational agency in general. Kant himself indicates this by stating that it applies to every incentive, "whatever it may be,"

Segundo essa interpretação, qualquer ação seria causada pela incorporação de um incentivo como razão para agir. Assim, as escolhas das direções de medições em um experimento de Bell também podem ser pensadas como escolhas livres produzidas pela efetividade causal do agente no momento da incorporação.

O segundo aspecto da tese da incorporação que é relevante para a solução do *loophole* se refere à capacidade do agente de iniciar uma série causal em um determinado instante de tempo. O agente que escolhe as direções em um experimento de Bell atua no tempo e no espaço, sendo necessário, portanto, que o processo de decisão envolva uma causal eficiente. Simultaneamente, também é necessário que essa causa eficiente não possua um passado causal. Sob a perspectiva da interpretação de Allison, o idealismo transcendental atende ambas as necessidades. Segundo a interpretação de Allison, o agente racional pode ser considerado sob dois pontos de vista, com objeto empírico e inteligível.

O caráter empírico do agente está associado à sua ação no mundo, assegurando que a escolha do agente seja manifestada no espaço e no tempo através de uma causa eficiente (a incorporação de um motivo). Em contrapartida, o caráter inteligível permite que o processo deliberativo do agente seja independente da causalidade natural. Assim, a escolha de um agente racional, concebida pela tese da incorporação, é uma causa não causada que se manifesta no tempo e no espaço. Essas são condições necessárias para que a ação do agente possa ser considerada como a solução para o *loophole* da independência das medições.

O terceiro aspecto que destacamos está associado ao grau de liberdade atribuído ao agente. A Tese de Incorporação se baseia na espontaneidade absoluta do arbítrio, sem admitir qualquer influência causal empírica. Portanto, ela requer um tipo absoluto de liberdade que não pressupõe nenhuma causa prévia meramente física ou empiricamente psicológica. A esse tipo Kant chama de “liberdade transcendental”. A incorporação de um motivo como regra para a escolha e ação humanas racionais dá início a uma nova série causal. A incorporação é um ato do agente que só pode ser pensado e, portanto, não pode ser percebido como um objeto da experiência. Assim, o ato de incorporar um motivo para agir é completamente independente da causalidade natural.

implying thereby that it covers actions motivated by inclination as well as purely moral considerations.” (Allison, 1996, p. 130).

A independência causal absoluta entre a escolha do agente e os eventos anteriores é um fator de grande importância para a solução do *loophole* da independência das medições. Diversos autores investigaram a questão de quão independentes as escolhas das medições devem ser da variável oculta. Podemos citar os trabalhos de Barrett & Gisin (2011), Degorre et al. (2005), Hall (2010, 2011), Koh, et al. (2012), Sheridan, & Scarani (2013), Pope, & Kay (2013) e Pütz, G., et al. (2014). De maneira geral, os artigos mostram que com pequena violação da condição da independência das medições seria possível explicar as correlações quânticas através de modelos clássicos (teorias de variáveis ocultas). Mais especificamente, seria possível reproduzir uma distribuição de probabilidade, que é característica de um sistema emaranhado (um tipo de correlação exclusiva da teoria quântica), a partir de um modelo de variáveis ocultas. Hall (2010), por exemplo, mostra que com uma pequena violação da condição de independência das medições seria possível construir um modelo de variáveis ocultas que reproduz as probabilidades calculadas para um estado de singlete. Esse estado é formado por duas partículas maximamente emaranhadas. O emaranhamento é um tipo de correlação exclusiva da mecânica quântica. Assim, no estado de singlete, as partículas demonstram de forma mais evidente suas propriedades quânticas. A violação da desigualdade de Bell em um experimento está associada ao caráter quântico do sistema de partículas usado nesse teste. Quando o sistema de partículas está no estado de singlete, suas propriedades quânticas são mais evidentes. Portanto, a violação da desigualdade de Bell nesses casos é mais intensa. O estado de singlete viola maximamente a desigualdade de Bell. O resultado apresentado por Hall (2010) é nesse sentido significativo. Mesmo as probabilidades calculadas para um estado de singlete, que possui características quânticas tão explícitas, poderiam ser descritas por uma teoria de variáveis ocultas caso acontecesse uma pequena violação da condição de independência da medição. Esse resultado demonstra de forma clara a fragilidade da condição de independência das medições.

Os trabalhos citados mostram que uma violação da condição de independência das medições tornaria o teorema de Bell obsoleto. Além disso, os autores estudam qual seria o grau de violação da condição de independência para que isso acontecesse. De forma geral, os resultados mostram que a independência completa entre a variável oculta e as escolhas das direções das medições não é necessária. O nível de tolerância para a condição de independência das medições é baixo, mas não é nulo. Portanto, quando se aceita que as direções das medições são definidas por escolhas humanas, essas escolhas não teriam

necessariamente de ser totalmente livres. Pode-se considerar um grau (muito baixo) de dependência entre as variáveis ocultas e as escolhas humanas e ainda garantir que a condição da independência das medições seja cumprida, ou seja, é possível resolver o *loophole* da independência das medições assumindo uma pequena correlação entre variáveis ocultas e as escolhas em um experimento de Bell. Nesse sentido, a posição kantiana sobre a liberdade dos agentes humanos racionais é mais restritiva do que a condição necessária solucionar o *loophole* com as escolhas humanas.

Suponhamos uma teoria da agência que admite um grau de dependência causal entre os eventos passados e as escolhas do agente. Para solucionar o *loophole*, essa teoria da agência deveria assegurar que as relações causais que envolvem o agente não excedem o nível de tolerância exigido pela condição de independência das medições. Essa condição tornaria a teoria da agência excessivamente casuística. Além disso, seria necessário fazer suposições sobre os mecanismos de interação entre a variável oculta e os agentes que atuam em um experimento de Bell, assim, as teorias de variáveis ocultas tornariam explícitas certas propriedades específicas da variável oculta. Entretanto, essas suposições reduziriam o grau de generalidade do teorema de Bell. O fator que assegura a abrangência desse teorema é a imprecisão da definição da variável oculta. Considerada como um elemento desconhecido que poderia completar a teoria quântica e resgatar alguns aspectos da física clássica, especialmente a noção de causalidade, a variável oculta deve estar submetida a condições mínimas. A ampliação desse conjunto de condições tornaria o teorema de Bell muito específico, aplicado apenas a um conjunto particular de variáveis ocultas.

Para respeitar a generalidade da definição da variável oculta e o baixo grau de tolerância da condição de independência das medições, é necessário um mecanismo que seja capaz de separar, de forma clara, o agente do domínio de influência da variável oculta. Ao atribuir liberdade absoluta ao agente racional, a teoria da agência de Kant naturalmente cumpre o grau de tolerância exigido pela condição de independência das medições, e preserva a generalidade da teoria de variável oculta. A liberdade transcendental que é atribuída ao agente na teoria kantiana da agência pode ser pensada, pois a essa teoria da agência está inserida em um programa filosófico mais amplo. Convém notar, entretanto, que o caráter restritivo da teoria da agência de Kant a respeito do grau de liberdade dos agentes permite apenas uma solução filosófica do *loophole* da independência das medições. O programa de Kant fornece

as bases filosóficas para a elaboração de um mecanismo de separação entre os campos da causalidade e da liberdade. Sob a perspectiva kantiana a variável oculta estaria restrita ao campo da causalidade, portanto, o agente estaria efetivamente livre da ação dessas variáveis. Assim, a teoria da agência de Kant fornece um suporte para uma solução filosófica e não propriamente física do *loophole* da independência das medições.

CONCLUSÃO

Nesta tese argumentamos que a alternativa para solucionar o *loophole* da independência das medições, por meio da hipótese do livre-arbítrio, encontra suporte filosófico na teoria da agência de Kant.

Como foi mencionado anteriormente nesta tese, o livre-arbítrio humano pode ser abordado sob as perspectivas científicas e filosóficas. Portanto, seria natural imaginar que o *loophole* da independência das medições poderia ser solucionado por qualquer teoria, seja ela científica ou filosófica, que oferecesse argumentos para a demonstração do livre-arbítrio humano. Considerando que *loophole* da independência das medições é um problema que surge no interior de uma teoria científica, seria ainda mais natural supor que os físicos buscassem argumentos científicos para embasar a hipótese do livre-arbítrio. Entretanto, quando examinamos os artigos que defendem que o livre-arbítrio humano como solução para o *loophole* da independência das medições, como os trabalhos de Bell (1976) e Abellán et al. (2018) exigem, não encontramos argumentos científicos que sustentam a tese do livre-arbítrio. Não há uma preocupação dos autores em justificar a veracidade da hipótese de que os agentes que atuam em um experimento de Bell são livres da influência da variável oculta. Em termos filosóficos, eles admitem tacitamente que eventos podem ser produzidos pela causalidade natural ou pela liberdade humana. No primeiro caso, todo evento possui uma causa anterior. No segundo caso, uma decisão humana seria capaz de iniciar uma série causal e, nesse sentido, pode-se dizer que essa causa é livre. Assim, ao adotar o livre-arbítrio como solução para o *loophole* da independência das medições, os físicos consideram como se os agentes envolvidos em um experimento de Bell fossem livres. Nesse sentido, a liberdade do arbítrio tem um uso hipotético, assumindo assim uma função regulativa.

Na filosofia kantiana, os juízos e princípios regulativos têm um papel essencial na condução das teorias científicas. Por exemplo, a ideia de que os eventos do mundo seguem um padrão dado por algum tipo de inteligência, serve para guiar a investigação empírica. Nas palavras de Kant:

Pode-se dizer então, por exemplo, que as coisas do mundo têm de ser consideradas como se recebessem sua existência de uma inteligência suprema. Desse modo, a ideia é apenas, de fato, um conceito heurístico e não ostensivo, e indica não como o objeto é constituído, mas como nós devemos, sob a sua orientação, buscar a constituição e a conexão dos objetos da experiência em geral. (KrV, A670-671/B698-699)

Como foi discutido na seção 3.2 desta tese, o uso regulativo das ideias da razão é abordado no Apêndice da Dialética transcendental da *Crítica da razão pura*. Como as ideias da razão não estão associadas a nenhum objeto empírico, elas não podem ser submetidas a investigações científicas de natureza experimental e, portanto, elas não são nem verdadeiras nem falsas. Entretanto, elas podem guiar heurística e indiretamente as teorias físicas na solução de seus problemas empíricos. Kant explicita que as ideias de Deus e de mundo podem exercer funções regulativas mesmo no âmbito teórico das ciências naturais. Em contraposição, Kant discute a função regulativa da ideia de liberdade apenas no campo da filosofia prática. Entendemos que a tentativa de solucionar o *loophole* da independência das medições assumindo a hipótese do livre-arbítrio, como foi proposto por Bell (1976) e Abellán et al. (2018), significa ampliar o uso regulativo da ideia de liberdade para o âmbito da física. Nesse caso, o livre-arbítrio é considerado de forma hipotética. Nesse sentido, não seria possível demonstrar empiricamente como verdadeira a afirmação de que os agentes em um experimento de Bell atuam livremente. Portanto, essa é uma solução de natureza filosófica e não científica.

Porém, pode-se perguntar se seria possível elaborar uma solução científica para o *loophole*. Reformulando a pergunta: seria possível construir uma abordagem científica capaz de mostrar que o agente em um experimento de Bell decide livremente sem a influência causal da variável oculta? Para analisar essa possibilidade, podemos recorrer à distinção kantiana entre os princípios regulativos e constitutivos. Enquanto os princípios regulativos são associados à faculdade da razão e não correspondem a objetos empíricos, os princípios do entendimento são constitutivos da experiência. Todo fenômeno é constituído pelo sujeito em conformidade com princípios como o da substância ou da causalidade. Por isso, não é possível conceber uma abordagem científica que prescindia dos princípios constitutivos. Mais especificamente, uma abordagem científica deve envolver a noção de que todo evento tem uma causa.

No caso de uma abordagem científica que investigasse a atuação de um agente em um experimento de Bell, as ações do agente seriam tratadas como eventos. Como a causalidade é um princípio constitutivo da experiência, esses eventos associados aos agentes possuiriam um passado causal. Considerando que a definição da variável oculta no teorema de Bell é extremamente abrangente e não existem limites claros para seu campo de influência, seria possível supor que a variável oculta está contida no passado causal da ação de uma agente em um experimento de Bell. Ao considerar que todos os eventos estão submetidos à causalidade natural, uma teoria científica do livre-arbítrio não é capaz de assegurar a completa independência entre o agente e a variável oculta. Portanto, assumindo que a causalidade é um elemento constitutivo e uma teoria científica, não é possível construir uma solução científica para o *loophole* da independência das medições.

Se a liberdade do arbítrio humano não pode ser inserida como um elemento científico no teorema de Bell, ela pode ser adotada como uma ideia regulativa. De certa forma, entendemos que essa é a melhor posição para a tese implícita adotada por Bell (1976) e Abellán et al. (2018). Ao defender que o livre-arbítrio poderia assegurar a condição da independência das medições, os autores não apresentam argumentos científicos em defesa do livre-arbítrio. A ideia de liberdade é adotada de forma meramente hipotética. Não achamos que uma solução científica para o *loophole* seja possível. Entretanto, pode-se elaborar uma solução filosófica.

Nesta tese, defendemos que uma solução filosófica para o *loophole* da independência das medições deve ser compatível com um tipo específico de livre-arbítrio. A princípio poderíamos imaginar que qualquer teoria filosófica que defenda a agência livre seria adequada para solucionar o *loophole*. Entretanto, o caráter genérico da variável oculta impõe certas restrições ao tipo de liberdade necessário para a elaboração de uma solução filosófica. No teorema de Bell não há especificações sobre quais são os eventos influenciados pela variável oculta. Tampouco existem considerações sobre seus mecanismos de interação com esses eventos. Essa variável representa uma grandeza física desconhecida que poderia explicar os fenômenos quânticos de uma forma alternativa. A imprecisão da definição da variável oculta concede generalidade ao teorema de Bell, entretanto, torna também a condição de independência das medições extremamente restrita.

Como vimos, a solução filosófica para o *loophole* da independência das medições requer pelo menos duas teses. A primeira é a de que as ações do agente são livres. A segunda tese é a de que a ação da variável oculta esteja circunscrita a uma série causal que não contém o agente. Para defender a segunda tese, é necessário um mecanismo teórico capaz de restringir o campo de atuação da variável oculta. A primeira tese pode ser sustentada por todas as teorias que defendem o livre-arbítrio humano. Entretanto, como argumentamos no capítulo 2, nem todas as teorias da agência livre fornecem argumentos para defender a restrição do campo de atuação da variável oculta.

A teoria da agência de Kant é parte de um amplo programa filosófico. Uma das consequências do programa filosófico de Kant é a construção de um espaço conceitual livre da influência da causalidade natural. Como argumentamos na seção 3.8, os mecanismos de influência da variável oculta estão associados à causalidade natural. Portanto, a teoria kantiana fornece elementos para a defesa da tese de que a variável oculta estaria contida em um domínio finito de influência, o domínio fenomênico. A agência humana estaria fora desse domínio, portanto, estaria livre da influência da variável oculta.

A singularidade da teoria de Kant favorece a solução filosófica do *loophole*. A posição de Kant acerca livre-arbítrio não pode ser entendida mediante as classificações usuais. Ela não pode ser pensada como uma teoria incompatibilista, pois Kant não nega nem o determinismo nem o livre-arbítrio. Em contrapartida, ela tampouco pode ser classificada como compatibilista. Na terceira antinomia da Dialética Transcendental, Kant afirma que a abordagem metafísica clássica sobre o livre-arbítrio e o determinismo resulta em um paradoxo lógico. Como o determinismo governa os eventos no âmbito fenomênico, Kant introduz um espaço conceitual para que a liberdade possa ser pensada. Assim, a teoria da agência de Kant se difere das demais por estabelecer uma distinção clara entre o domínio da natureza e o da liberdade. Defendemos que essa distinção é essencial para a solução do *loophole* da independência das medições.

Avaliamos também a adequação de outras teorias do livre-arbítrio à solução do *loophole*. Segundo as teses compatibilistas, a ação de um agente seria causada por seus desejos e inclinações que são constituídos pela experiência. Portanto, as vontades do agente estariam conectadas a uma cadeia causal extensa, que podem incluir eventos anteriores ao seu nascimento. Assim, seria impossível garantir que a variável oculta não pertença a essa cadeia

ou, em outras palavras, que ela não esteja contida no passado causal dos desejos e das inclinações que causam as ações.

Vimos que as teorias libertarianistas oferecem elementos mais adequados do que as teses compatibilistas para a defesa da agência livre em um teste de Bell. Entretanto, ao avaliar as características específicas de cada teoria, certas incompatibilidades são observadas. As teorias do evento causal também assumem que os desejos e as intenções do agente possuem efetividade causal. Em geral, as teorias do evento causal se diferenciam das teorias compatibilistas por considerar que a causalidade associada aos desejos e inclinações é probabilística e não determinista. Entretanto, o caráter probabilista das relações causais não é suficiente para garantir a independência entre a variável oculta e o agente em um teste de Bell. As relações causais não deterministas também violam a condição de independência das medições, já que a variável oculta poderia pertencer ao passado causal do processo natural que gera a decisão do agente.

Assim, as teorias do evento causal estabelecem condições para que a liberdade possa ser pensada segundo o ordenamento causal natural. Isso torna inviável a solução do *loophole* da independência das medições pela ação do agente.

Diante dessas insuficiências, avaliamos serem mais adequadas para a solução do problema em questão as teses não causais e do agente causal. Essas teses pressupõem que as decisões dos agentes não podem ser explicadas pelo mesmo tipo de causalidade associada aos eventos.

No caso das teorias não causais, elas oferecem a possibilidade de desvincular as ações humanas das relações causais. As explicações para as ações possuiriam apenas conteúdo teleológico. Elas seriam explicadas segundo as intenções do agente. Assim, as ações não estariam submetidas às leis da causalidade. Entretanto, os estados antecedentes do mundo influenciariam a construção dos desejos e inclinações dos agentes. Assim, segundo essa teoria, existe uma relação de influência entre os estados antecedentes do mundo e as decisões do agente. A decisão final do agente pode ser pensada como não causal.

Se uma ação é explicada como algo que o agente realiza de forma não causal, então essa ação poderia em princípio ser pensada como independente da variável oculta. Entretanto, nas teorias não causais da agência ainda existe um vínculo entre os eventos do passado e as

decisões do agente. Como tais teorias não oferecem mecanismos para delimitar o domínio de influência das variáveis ocultas, poderíamos supor que a variável oculta estaria associada aos eventos anteriores que contribuíram para a construção dos desejos e inclinações dos agentes. Assim, a variável oculta poderia exercer influência sobre as escolhas do agente que atua em um experimento de Bell. Assim, as teorias não causais não solucionariam o *loophole* da independência das medições. Nesse ponto, destaca-se uma distinção importante entre as teorias não causais e a teoria da agência de Kant. O agente na teoria kantiana possui efetividade causal e suas ações não são explicadas por suas razões, desejos ou inclinações. Segundo a interpretação de Allison que adotamos nesta tese, o ato de incorporação de motivos para uma ação é o fator causal associado ao agente. A incorporação seria a causa eficiente da ação. Entretanto, o ato de incorporação é apenas pensado ou pressuposto, não sendo um objeto da experiência. Assim, a incorporação é uma causa inteligível, por isso ela pode ser pensada como livre da causalidade natural. A ideia de que o agente decide de forma espontânea, independentemente da causalidade da natureza, incorporar um motivo para agir é bem explicada pela perspectiva kantiana da ideia transcendental da liberdade. A distinção entre o domínio fenomênico (associado à causalidade natural) e o domínio da liberdade é um elemento essencial para a teoria kantiana da agência. Defendemos que essa distinção também é imprescindível para a solução filosófica do *loophole* da independência das medições.

No caso das teorias do agente causal, o “fator extra” nelas introduzido satisfaz a condição necessária para a solução do *loophole* de que o agente deve iniciar uma série causal. A princípio, todas as teorias do agente causal permitiriam uma solução para o *loophole* da independência das medições. Entretanto, outras condições entram em jogo. No caso avaliado da teoria da agência de O’Connor, ela defende, em termos gerais, que a causalidade associada ao agente seria uma propriedade emergente de sistemas complexos. Para adotar essa teoria como solução do *loophole*, seria necessário garantir que a variável oculta não estaria envolvida no processo de emergência das propriedades do sistema macroscópico associado ao agente. Para assegurar essa condição deveria ser possível entender, em detalhes, o vínculo entre as propriedades emergentes e o sistema físico complexo que gera essas propriedades. Entretanto, essa explicação não está presente na teoria de O’Connor, nem em qualquer outra teoria do campo das ciências cognitivas sobre propriedades emergentes em sistemas complexos.

A opção pela teoria da agência de Kant, adotada nesta tese, se justifica pela clara distinção entre o âmbito da natureza e o da liberdade formulada no idealismo transcendental. Usualmente classificada como uma teoria do agente causal, ela introduz dois tipos de causalidade: a causalidade transcendental ou numênica que rege as ações do agente e a causalidade empírica ou fenomênica que governa os eventos naturais. Consideramos ser a interpretação baseada na tese da incorporação de Allison para a teoria da agência de Kant uma forte candidata para se entender a relação entre os motivos e as decisões dos agentes racionais. A incorporação de um motivo como regra para uma ação tem poder causal eficiente. Nesse sentido, o ser humano pode ser pensado como *arbitrium liberum*, pois suas escolhas e ações não são causadas diretamente pelos estímulos da sensibilidade. As decisões humanas são construídas por processos deliberativos, em que a incorporação de um motivo é a causa eficiente. Segundo essa interpretação, as escolhas humanas podem ser pensadas como causas não causadas, pois não há um vínculo causal entre as decisões e os impulsos e desejos que são construídos por experiências passadas dos agentes.

Apesar de estar inserido em um passado causal, o agente é pensado como fonte única de suas escolhas. Não há relação de causa e efeito entre as escolhas do agente racional e os eventos contidos em seu passado causal. Essa independência completa é assegurada pela separação fundamentada no idealismo transcendental entre os âmbitos fenomênico e numênico.

Sob a perspectiva dos testes de Bell, a separação entre o domínio da natureza e da liberdade é necessária para garantir a independência do agente diante de influências desconhecidas. A variável oculta, que poderia exercer influência causal sobre o agente, é propositalmente definida como um elemento cujas características específicas são desconhecidas. Não existem hipóteses sobre quais são seus mecanismos de interação com os objetos empíricos. A adoção de definições amplas para a variável oculta concede generalidade ao teorema de Bell. Assim, não é possível avaliar quais seriam os mecanismos de influência da variável oculta sobre o agente que escolhe as configurações dos instrumentos de medição em um teste de Bell. Ao construir uma separação clara entre a esfera fenomênica e a liberdade do agente, a teoria de Kant estabelece as condições para assegurar a independência entre o agente e a variável oculta. Sob essa perspectiva kantiana o conceito de variável oculta seria um elemento restrito à esfera fenomênica.

Segundo Kant, os fenômenos estão submetidos à causalidade natural. O princípio da causalidade formulado na teoria de Kant se refere, entretanto, a causalidade determinista. Essa visão restrita das relações causais poderia se tornar um empecilho para a inserção da variável oculta no domínio fenomênico. Isso se deve à definição de variável oculta apresentada por Bell na segunda versão de seu teorema (em 1976). Nessa versão, a relação causal entre a variável oculta e os resultados das medidas é probabilística e não mais determinista como na primeira versão. Assim, a princípio, não seria possível pensar a variável oculta sob a óptica da filosofia kantiana.

Para superar essa objeção defendemos a possibilidade de abandonar o princípio associado ao determinismo e ainda assim manter os elementos da teoria kantiana que permitem assegurar a independência das medições no experimento de Bell. Mostramos na seção 3.1 que o determinismo e a causalidade podem ser desvinculados e expressos na teoria kantiana em termos de dois princípios distintos: o princípio das antecipações da percepção e o princípio causal da segunda analogia da experiência (Kauark-Leite, 2009, p. 208). O primeiro pertence ao grupo dos princípios matemáticos, enquanto o segundo pertence ao grupo dos princípios dinâmicos do sistema transcendental dos princípios do entendimento puro. O princípio das antecipações da percepção está associado ao formalismo matemático que representa a mudança como uma transição contínua de estados, base do cálculo diferencial e integral desenvolvido no século XVII independentemente por Newton e Leibniz.

A filósofa neokantiana Grete Hermann defende que é possível estabelecer uma dissociação entre determinismo e causalidade, e ainda preservar os aspectos fundamentais do idealismo transcendental de Kant. Ela identifica haver duas noções de causalidade na segunda analogia da experiência. A primeira, associada ao princípio da razão suficiente, vincula a causalidade à regra que conecta a causa ao efeito de acordo com uma ordem temporal objetiva. Nesse sentido, a relação entre causa e efeito não estaria necessariamente associada a regras deterministas, havendo lugar para se pensar uma causalidade de tipo probabilista. A segunda noção considera a causalidade como a regra que governa as alterações temporalmente contínuas entre dois estados. Apenas essa segunda noção conteria o vínculo entre determinismo e causalidade. Hermann defende a manutenção apenas da primeira noção de causalidade, em que a causalidade estaria dissociada do determinismo. Ao adotar essa estratégia, Hermann defende uma posição kantiana que é independente da noção de causalidade determinista.

Nesta tese seguimos a estratégia de Hermann. Argumentamos que a substituição da noção de causalidade determinista por uma não determinista preserva as hipóteses kantianas da liberdade do agente e da separação entre númeno e fenômeno. Essas hipóteses são fundamentais para a solução filosófica do *loophole* da independência das medições. Assim, o domínio fenomênico pode ser estendido e incluir os objetos que se relacionam através da causalidade probabilística, como as variáveis ocultas.

Portanto, uma abordagem kantiana da agência humana fornece o suporte filosófico para a solução do *loophole* da independência das medições. Sob essa perspectiva, o agente que escolhe as configurações dos instrumentos de medição em um teste de Bell pode ser pensado como independente das variáveis ocultas.

BIBLIOGRAFIA

- Abellán, et. al. (2015). Generation of fresh and pure random numbers for loophole-free Bell tests. *Phys. Rev. Lett.* 115, 250403.
- Abellán, C. et al. (2018). Challenging local realism with human choices. *Nature*, 557, 212-216.
- Agostinho (1995). *Livre-arbítrio*. São Paulo: Ed Paulus.
- Allison, H. (1996). *Idealism and Freedom*. New York: Cambridge University Press.
- _____. (1990) *Kant's Theory of Freedom*. Cambridge University Press.
- _____. (2004) *Kant's Transcendental Idealism, An Interpretation and Defense*. Revised & Enlarged Edition, New Haven and London: Yale University Press.
- Araújo, M., Costa, F., & Brukner, Č. (2014). Computational advantage from quantum-controlled ordering of gates. *Physical review letters*, 113(25), 250402.
- Aspect, A. et al. (1982) Experimental test of Bell's inequalities using time-varying analyzers. *Phys. Rev. Lett.*, 49, 1804–1807.
- Aspect, A., Grangier P. & Roger, G. (1982). Experimental realization of Einstein-Podolsky-Rosen-Bohm Gedankenexperiment: A new violation of Bell's inequalities. *Phys Rev.*, 49, 91-94.
- Aspect, A. (2007). To Be or Not to Be Local. *Nature*, 446, 866–867.
- Barrett, J. & Gisin, N. (2011). How much measurement independence is needed to demonstrate nonlocality? *Physical review letters*, 106(10), 100406.
- Bell, J. (1964). On the Einstein-Podolsky-Rosen Paradox. *Physics*, 1, 195-200.
- _____. (1966). On the Problem of Hidden Variables in Quantum Mechanics. *Reviews of Modern Physics*, 38, 447-475.
- _____. (1976). The theory of local beables. *Epistemological Lett.*, 9, 11–24. Reimpresso em Bell (2004), *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics*, Cambridge, UK: Cambridge Univ Press.
- _____. (1977). Free variables and local causality. *Epistemological Letters*, 15, 79–84. Reimpresso em Bell (2004), *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics*, Cambridge, UK: Cambridge Univ Press.
- _____. (2004) *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics*. Cambridge, UK: Cambridge Univ Press.
- Bernstein, M. (2002). Fatalism. In *The Oxford handbook of free will*.
- Bitbol, M. (1998). *Mécanique quantique: une introduction philosophique*. Paris: Flammarion.
- Brans, C. (1988). Bell's theorem does not eliminate fully causal hidden variables, *Int. J.Theor. Phys.*, 27, 219-226.
- Brunner, N., Cavalcanti, D., Pironio, S., Scarani, V., & Wehner, S. (2014). Bell nonlocality. *Reviews of Modern Physics*, 86(2), 419.
- Bohm, D. (1952a). A suggested interpretation of the quantum theory in terms of" hidden" variables. I. *Physical review*, 85(2), 166.

- Bohm, D. (1952b). A Suggested Interpretation of the Quantum Theory in Terms of "Hidden" Variables. II. *Physical Review*, 85(2), 180.
- Bohm, D. (1989). *Quantum Theory*. Courier Corporation.
- Bohr, N. (1928) The Quantum Postulate and the Recent Development of Atomic Theory. *Nature*, 121, 580–590.
- Bohr, N. (1935). Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete? *Physical Review*, 48, 693-702.
- Bohr, N. (1937a). Causality and Complementarity. *Philosophy of Science*, 4(3), 289-298.
- Bohr, N. (1949), Discussion with Einstein on Epistemological Problems in Atomic Physics. In Paul A. Schilpp, (ed.), *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*. New York: MJF Books.
- Born, M. (1971). *The Born-Einstein Letters*. New York: Macmillan.
- Bohr, N. (1985). *Collected Works 6: Foundations of quantum physics I (1926 – 1932)*. J. Kalckar (ed.), Amsterdam: North-Holland.
- Busemeyer, Jerome R., Peter D. Kvam, & Timothy J. Pleskac. (2019). Markov versus quantum dynamic models of belief change during evidence monitoring. *Scientific reports*, 9(1), 1-10.
- Busemeyer, J. R, Bruza P. (2011). *Quantum models of cognition and decision making*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Chibeni, S. S. (2005). Certezas e incertezas sobre as relações de Heisenberg. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 27, 181-192.
- Chiribella, G., D'Ariano, G. M., Perinotti, P., & Valiron, B. (2013). Quantum computations without definite causal structure. *Physical Review A*, 88(2), 022318.
- Christensen, B. G. et al. (2013). Detection-loophole-free test of quantum nonlocality, and applications. *Phys. Rev. Lett.*, 111, 130406.
- Cramer, J. G. (1986). The transactional interpretation of quantum mechanics. *Reviews of Modern Physics*, 58(3), 647.
- Cohen-Tannoudji, C., Diu, B., Laloe, F., Dui, B. (1992). *Quantum Mechanics* Wiley-Interscience.
- Costa, F., & Shrapnel, S. (2016). Quantum causal modelling. *New Journal of Physics*, 18(6), 063032.
- Degorrej et al. (2005). Simulating quantum correlations as a distributed sampling problem, *Phys. Rev. A*, 72, 062314.
- Dennett, D. (1984) *Elbow Room*. Cambridge: MIT Press.
- dos Santos, G. B. (2012). *Evolução Bohmiana das Flutuações Primordiais* (Tese de doutorado, Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas).
- Edwards, P. (1958). *Hard and Soft Determinism*. Em Hook, S. ed., *Determinism and Freedom in the Age of Modern Science*. Londres: Collier Books, p.117-125.
- Einstein, A., Podolsky, B. e Rosen, N. (1935), Can quantum-mechanical description of reality be considered complete?. *Physical Review*, 47, 777-780.
- Feix, A., Araújo, M., & Brukner, Č. (2015). Quantum superposition of the order of parties as a communication resource. *Physical Review A*, 92(5), 052326.
- Fine, A. (1986). *The Shaky Game: Einstein realism and the quantum theory*. Chicago: Chicago University Press.
- Folse, H. J. (1985). *The philosophy of Niels Bohr: The framework of complementarity*. Amsterdam: North Holland Physics Publishing.

- Frankfurt, H. G. (1969). Alternate possibilities and moral responsibility. *The journal of philosophy*, 66(23), 829-839.
- Friedman N. (2004). Inferring cellular networks using probabilistic graphical models. *Science*, 303,
- Fritz, T. (2012). Beyond Bell's theorem: correlation scenarios. *New Journal of Physics*, 14(10), 103001.
- Fürst, M. et al. (2010). High speed optical quantum random number generation, *Opt. Express*, 18, 13029.
- Genovese, M., e Gramegna, M. (2019). Quantum correlations and quantum non-locality: A review and a few new ideas. *Applied Sciences*, 9(24), 5406.
- Ginet C. (1990), *On Action*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ginet, C. (1997). Freedom, responsibility, and agency. *The Journal of Ethics*, 1(1), 85-98.
- Ginet, C. (2007). An Action Can be Both Uncaused and up to the Agent. In C. Lumer e S. Nannini (ed.), *Intentionality, Deliberation, and Autonomy*. Farnham: Ashgate Press.
- Giustina, M. et al. (2015). Significant-loophole-free test of Bell's theorem with entangled photons, *Phys. Rev. Lett.*, 115, 250401.
- Godoy, W. (2018). Explorações filosóficas da não-localidade em física quântica: desdobramentos do argumento de EPR (Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo).
- Goswami, K., Giarmatzi, C., Kewming, M., Costa, F., Branciard, C., Romero, J., & White, A. G. (2018). Indefinite causal order in a quantum switch. *Physical review letters*, 121(9), 090503.
- Hall, M. J. (2010). Local deterministic model of singlet state correlations based on relaxing measurement independence, *Phys. Rev. Lett.* 105 250404.
- Hall, M. J. (2011). Relaxed bell inequalities and kochen-specker theorems. *Physical Review A*, 84(2), 022102.
- Handsteiner J. et al., (2017), Cosmic Bell Test: Measurement Settings from Milky Way Stars, *Phys. Rev. Lett.*, **118**, p. 060401.
- Hanna, R. (2006). *Kant, Science and Human Nature*. Oxford: Oxford University Press.
- Hanna, R. e Moore, A. (2007). "Reason, Freedom and Kant: An Exchange." *Kantian Review*, 12(1): 113-133.
- Haven E, Khrennikov A. (2013) *Quantum social science*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Heisenberg, M. (1983). Initial activity and voluntary behavior in animals. *Die Naturwissenschaften*, 70(2), 70-78.
- Heisenberg, M. (2009). Is free will an illusion?. *Nature*, 459, 164-165.
- Heisenberg, W. (1927) Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik. *Zhurnal Physik* 43, 172–198. (Trad. 'On the quantum mechanics of collisions', in Wheeler & Zurek (ed.). *Quantum Theory and Measurement*. Princeton: Princeton Univ. Press, 1983, 52-55.)
- Heisenberg W., (1930) *The Physical Principles of the Quantum Theory* (Dover, New York, 1949, traduzido por C. Eckart e F.C. Hoyt).
- Hensen, B, et al. (2015). Loophole-free Bell inequality violation using electron spins separated by 1.3 kilometres. *Nature* 526 (7575): 682-686.
- Hermann, G. (1935). Die naturphilosophischen grundlagen der quantenmechanik. *Naturwissenschaften*, 23(42), 718-721.
- Hermann, A (1971). *The Genesis of Quantum Theory (1899-1913)*. Cambridge: MIT Press.

- Hermann, G. (1996). *Les fondements philosophiques de la mécanique quantique*. Paris: Vrin.
- Howard, D. (2004). Who invented the “Copenhagen Interpretation”? A study in mythology. *Philosophy of Science*, 71(5), 669-682.
- Hume, D. (2004). *Investigações sobre o entendimento humano e sobre os princípios da moral*, trad. José Oscar de Almeida Marques, Unesp.
- Irwin, T. (1984). Morality and Personality: Kant and Green, em *Self and Nature in Kant's Philosophy*, Allen W. Wood (ed.), Ithaca, New York: Cornell University Press.
- Kahneman, D., & Tversky, A. (1972). Subjective probability: A judgment of representativeness. *Cognitive psychology*, 3(3), 430-454.
- Kahneman, D. (2012). *Rápido e devagar: duas formas de pensar*. Objetiva.
- Kane, R. (1998). *The significance of free will*. Oxford University Press.
- _____. (Ed.). (2002). *The Oxford handbook of free will*. Oxford University Press.
- _____. (2005). *A Contemporary Introduction to Free Will*. Oxford University Press.
- Kant, I. (2012). *Crítica da razão pura*, trad. Fernando Costa Mattos, 4ª ed. Petrópolis, Editora Vozes.
- Kant, I. (2016). *Crítica da faculdade de julgar*, trad. Fernando Costa Mattos, Petrópolis, Editora Vozes.
- Kauark-Leite, P. (2004) *Vers une critique de la raison quantique: les approches transcendantales en mécanique quantique*, Tese de Doutorado, Ecole Polytechnique X.
- _____. (2009) The Transcendental Role of the Principle of Anticipations of Perception in Quantum Mechanics, em *Constituting Objectivity*, Bitbol, M., Kerszberg, P., Petitot, J. (eds.), Springer, Dordrecht.
- _____. (2012a) *Théorie quantique et philosophie transcendantale: dialogues possibles*. Paris: Hermann.
- _____. (2012b) Causalidade e teoria quântica, *Scientiae Studia*, 10(1).
- _____. (2016) Contemporary Science Between Theoretical and Practical Reason: A Transcendental-Pragmatic Approach to Quantum Theory. *Revista de Estudos Kantianos*, 1 (1), pp.
- _____. (2017). Transcendental versus Quantitative Meaning of Bohr's Complementarity Principle. In J. Faye and H. Folse (eds.), *Niels Bohr and the Philosophy of Physics*, London: Bloomsbury Academic, pp. 67-88.
- Koh, D. E., et al. (2012). Effects of reduced measurement independence on Bell-based randomness expansion. *Physical review letters*, 109(16), 160404.
- Klein, J. T. (org.) (2012). *Comentários às Obras de Kant: Crítica da razão pura*, Florianópolis:UFSC/NEFIPOnline.(<http://www.nefipo.ufsc.br/files/2012/11/comentarios1.pdf>).
- Kumar, M. (2008). *Quantum: Einstein, Bohr and the great debate about the nature of reality*. Icon Books Ltd.
- Laplace, P. S. (1820). *Théorie analytique des probabilités*. Courcier.
- Lee, J. S., Bang, J., Lee, J., & Lee, K. G. (2019). Experimental demonstration on quantum sensitivity to available information in decision making. *Scientific reports*, 9(1), 1-8.
- Libet, B. (1985). Unconscious cerebral initiative and the role of conscious will in voluntary action. *Behavioral and brain sciences*, 8(4), 529-539.

- Maudlin, T. (1996). Space-time in the quantum world. Em *Bohmian mechanics and quantum theory: An appraisal* (pp. 285-307). Springer, Dordrecht.
- McKenna, M., & Pereboom, D. (2016). *Free will: A contemporary introduction*. Routledge.
- Nagel, T. (1986). *The View from Nowhere*. New York: Oxford University Press.
- Noesen, T. (2007). Against 'realism' *Found. Phys.* 37 311.
- _____. (2009). Local causality and completeness: Bell vs. Jarrett. *Foundations of Physics*, 39(3), 273-294.
- _____. (2015). Are there really two different Bell's theorems?, *arXiv:1503.05017*.
- O'Connor, Timothy (2000). *Persons and Causes*. Oxford University Press.
- O'Connor, Timothy (2002), Libertarian Views: Dualist and Agent-Causal Theories, em Kane, R. ed. *The Oxford handbook of free will*. Oxford University Press.
- Oreshkov, O., Costa, F., & Brukner, Č. (2012). Quantum correlations with no causal order. *Nature communications*, 3(1), 1-8.
- Ou, Z.Y. and Mandel, L. (1988): Violation of Bell's inequality and classical probability in a two-photon correlation experiment, *Phys Rev Lett.*, 61, pp. 50-53.
- Pearl, J. (1998). Graphs, causality, and structural equation models. *Sociological Methods & Research*, 27(2), 226-284.
- Pearl, J. (2009). *Causality*. Cambridge university press.
- Pearl, J. (2015) *Econometric Theory*, 31(1), 152-179.
- Peterson, M. (2017). *An introduction to decision theory*. Cambridge University Press.
- Pienaar, J., & Brukner, Č. (2015). A graph-separation theorem for quantum causal models. *New Journal of Physics*, 17(7), 073020.
- Price, H. (2008). Toy models for retrocausality. *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 39(4), 752-761.
- Pope, J. E., & Kay, A. (2013). Limited measurement dependence in multiple runs of a Bell test. *Physical Review A*, 88(3), 032110.
- Posner, Richard A. 2013. Why is there no Milton Friedman today? *Econ Journal Watch* 10 (2): 210–213
- Pothos, E. M., & Busemeyer, J. R. (2009). A quantum probability explanation for violations of 'rational' decision theory. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 276(1665), 2171-2178.
- Pothos EM, Busemeyer JR. (2013) Can quantum probability provide a new direction for cognitive modeling? *Behav. Brain Sci.* 36, 255327.
- Pütz, G., et al. (2014). Arbitrarily small amount of measurement independence is sufficient to manifest quantum nonlocality. *Physical review letters*, 113(19), 190402.
- Rauch, D. et al, (2018): Cosmic Bell Test Using Random Measurement Settings from High-Redshift Quasars, *Phys. Rev. Lett.*, 121, p. 080403.
- Reichenbach, H. (1991). *The direction of time* (Vol. 65). Univ of California Press.

- Rice, H. (2018) Fatalism, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2018 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = [<https://plato.stanford.edu/archives/win2018/entries/fatalism/>](https://plato.stanford.edu/archives/win2018/entries/fatalism/).
- Rosenfeld, W. et al. (2017): Event-ready Bell test using entangled atoms simultaneously closing detection and locality loopholes, *Phys. Rev. Lett.*, **119**, p. 010402.
- Savage, L. J. (1954). *The foundations of statistics*; jon wiley and sons. Inc.: New York, NY, USA.
- Scheidla, et al., (2010). Violation of local realism with freedom of choice, *Proc. Natl. Acad. Sci.* v.107, p. 19708.
- Shafir, E., & Tversky, A. (1992). Thinking through uncertainty: Nonconsequential reasoning and choice. *Cognitive psychology*, 24(4), 449-474.
- Shalm, L. K. et al. (2015): Strong loophole-free test of local realism, *Phys. Rev. Lett.*, **115**, p. 250402.
- Sheridan, L., & Scarani, V. (2013). Bell tests with min-entropy sources. *Physical Review A*, 87(6), 062121.
- Shimony, A., Horne, M.A., and Clauser, J., (1976), Comment on ‘The theory of local beables’, *Epistemological Letters*, 13: 1–8. Reimpresso em (1985) Comment on ‘The theory of local beables’, *Dialectica*, 39: 97–102.
- Sobel, J. H. (1998) *Puzzles for the Will*. Toronto: University of Toronto Press.
- Soon, C. S. et al. (2008). Unconscious determinants of free decisions in the human brain. *Nature neuroscience*, 11(5), 543-545.
- Spirtes P, Glymour N, e Scheines R. (2001) *Causation, Prediction, and Search*, 2nd ed. The MIT Press, (2001).
- Strawson, P. F. (1974). *Freedom and resentment, and other essays* (Vol. 595). Egmont Books (UK).
- Sutherland, R. I. (2008). Causally symmetric Bohm model. *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 39(4), 782-805.
- Taylor, R. (1974) *Metaphysics*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Textor, et, all. (2011). DAGitty: a graphical tool for analyzing causal diagrams. *Epidemiology*, 22(5), 745.
- Tsarev, Dmitriy, et al. (2019). Phase transitions, collective emotions and decision-making problem in heterogeneous social systems. *Scientific Reports* 9.1, 1-13.
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1973). Availability: A heuristic for judging frequency and probability. *Cognitive psychology*, 5(2), 207-232.
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1974). Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases: Biases in judgments reveal some heuristics of thinking under uncertainty. *Science*, 185(4157), 1124-1131.
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1983). Extensional versus intuitive reasoning: The conjunction fallacy in probability judgment. *Psychological review*, 90(4), 293.
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1985). The framing of decisions and the psychology of choice. *Behavioral decision making* (pp. 25-41). Springer, Boston, MA.

- Tversky, A., & Kahneman, D. (1989). Rational choice and the framing of decisions. Em *Multiple criteria decision making and risk analysis using microcomputers* (pp. 81-126). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Tversky, A., & Shafir, E. (1992). The disjunction effect in choice under uncertainty. *Psychological science*, 3(5), 305-310.
- Ver Steeg G., e Galstyan A., (2011), A sequence of relaxations constraining hidden variable models, in *Proceedings of the 27th conference on Uncertainty in Artificial Intelligence*.
- Vervoort, L. (2013). Bell's Theorem: Two Neglected Solutions. *Found Phys* 43:769–791.
- Vilhauer, B. (2008) *Incompatibilism and Ontological Priority in Kant's Theory of Free Will*. Em Muchnik, P. ed. *Rethinking Kant*, volume 1. Newcastle: Cambridge Scholars Publishing, pp. 22-47.
- von Neumann, J., (1932), *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*, Berlin: Springer Verlag (Princeton, Princeton University Press, 1955 traduzido por R.T. Beyer)
- Wang Z, Solloway T, Shirin RM, Busemeyer JR. (2014) Context effects produced by question orders reveal quantum nature of human judgments. *Proc. Natl Acad. Sci.* 111, 94319436.
- Watkins, E. (2005). *Kant and the Metaphysics of Causality*. New York: Cambridge University Press.
- Watson, G. (1975). Free agency. *The Journal of Philosophy*, 72(8), 205-220.
- Weih's, G. et al. (1998). Violation of Bell's inequality under strict Einstein locality conditions. *Phys. Rev. Lett.* v.81, p.5039–5043.
- Wermuth N., e Lauritzen S., (1983) Graphical and recursive models for contingency tables, *Biometrika*, 70, 537 (1983)
- Wiseman, H. M. (2014). The Two Bell's Theorems of John Bell, *Math. Theor.*, 47, p. 424001.
- Wood, A. (1984). *Kant's Compatibilism*. Em Wood, A. ed. *Self and Nature in Kant's Philosophy*. Ithaca: Cornell University Press.
- Wood, C. J. et al. (2015). The lesson of causal discovery algorithms for quantum correlations: Causal explanations of Bell-inequality violations require fine-tuning, *New Journal of Physics*, 17, p. 033002.
- Yearsley, J. M., & Pothos, E. M. (2016). Zeno's paradox in decision-making. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283(1828), 20160291.
- Zagzebski, L. (2002). *Recent work on divine foreknowledge and free will*. Em Kane, R. ed. *The Oxford handbook of free will*, p.45-64. Oxford University Press
- Zeilinger, A. (2005). *A face oculta da natureza*, São Paulo: Globo.