

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

**SOBRE A BASE FÍSICA DA ASSIMETRIA CAUSAL: UM ESTUDO
DE ABORDAGENS REDUCIONISTAS**

FELIPE TORRES CÂNDIDO

BELO HORIZONTE

2019

FELIPE TORRES CÂNDIDO

SOBRE A BASE FÍSICA DA ASSIMETRIA CAUSAL: UM ESTUDO
DE ABORDAGENS REDUCIONISTAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Filosofia da Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Filosofia.

Área de concentração: Lógica, Ciência, Mente e Linguagem.

Orientador: Prof. Dr. Túlio Roberto Xavier de Aguiar

BELO HORIZONTE

2019

100	Cândido, Felipe Torres
C217s	Sobre a base física da assimetria causal [manuscrito] : um
2019	estudo de abordagens reducionistas / Felipe Torres Cândido. - 2019. 105 f. : il. Orientador: Túlio Roberto Xavier de Aguiar. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas. Inclui bibliografia. 1.Filosofia – Teses.2.Ciência - Teses. I.de Aguiar, Túlio Roberto Xavier. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas. III. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FILOSOFIA



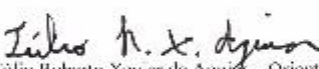
FOLHA DE APROVAÇÃO

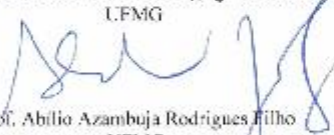
SOBRE A BASE FÍSICA DA ASSIMETRIA CAUSAL: UM ESTUDO DE ABORDAGENS REDUCIONISTAS

FELIPE TÔRRES CÂNDIDO

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

Aprovada em 03 de maio de 2019, pela banca constituída pelos membros:


Prof. Túlio Roberto Xavier de Aguiar – Orientador
UFMG


Prof. Abílio Azambuja Rodrigues Filho
UFMG


Prof. Guilherme Araújo Cardoso
CEFET-MG

Belo Horizonte, 3 de maio de 2019.

À Flor...

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Túlio Aguiar (UFMG), agradeço por ter me auxiliado em minha pesquisa mesclando, dependendo da demanda e do momento, rigor e leveza. A forma como Túlio conduziu a sua orientação comigo foi muito compreensiva e humana. Agradeço-o também pelo imenso aprendizado que me proporcionou, além da enorme contribuição para o meu amadurecimento intelectual em torno do problema da assimetria causal.

Agradeço aos demais professores da banca: Ao professor Abílio Rodrigues agradeço pela paciência, pela amizade e pelos valiosíssimos conselhos desde o meu primeiro período de faculdade. Ter estudado lógica com o professor Abílio foi fundamental para mim. Ao professor Guilherme Araujo agradeço pela boa vontade com que aceitou compor a minha banca.

Agradeço à FAFICH, ao ICEX e à mãe UFMG por terem abrigado os meus sonhos de um jovem aprendiz por quase metade da minha vida.

Agradeço aos meus amados pais Newder e Clea por terem investido em meus estudos durante duas décadas, por terem me dado a estrutura necessária para poder estudar tranquilamente, por terem sido um porto seguro de amor e compreensão nas horas complicadas e por terem despertado em mim a consciência de que as oportunidades que eu tive na vida poucas pessoas conseguem ter. Às minhas irmãs (especialmente Taynara, pelas vivências que compartilhamos) agradeço pela cumplicidade. Às minhas lindas sobrinhas e afilhadas agradeço pelo carinho.

Agradeço ao meu sogro João Cordeiro e à minha sogra Margareth Sathler por terem me dado abrigo e possibilidades para seguir trilhando a minha trajetória. Agradeço à toda a família da minha esposa que, desde o primeiro momento, me acolheu de forma muito calorosa e afetuosa.

Agradeço aos meus tios e tias que foram como pais para mim; aos meus primos e primas que foram como irmãos para mim; e aos meus cunhados (em especial Tales) pela grande amizade.

Agradeço aos bons, raros e valiosos amigos e amigas que a vida se encarregou de colocar em meu caminho desde a escola.

Agradeço às pessoas que tangenciaram a minha vida e deixaram alguma mensagem legal.

Agradeço aos meus amados parentes que se foram e deixaram saudades. Desses, em especial, agradeço à minha madrinha Márcia por sempre ter me apoiado em minhas decisões – simplesmente por querer me ver feliz.

Por fim, e de maneira mais profunda, agradeço e dedico à minha amada esposa Tamires e à minha amada filha Flor por terem sempre um beijo e um abraço cheios de amor e ternura para me dar, independente da dificuldade do momento. Vocês duas são a minha família e a minha vida.

RESUMO

A segunda metade do século XX é marcada por um intenso debate acerca da causação. Um dos principais problemas existentes nesse debate é a necessidade de se determinar um correspondente no mundo físico ou nas leis da Física para a assimetria causal. Sendo assim, o presente trabalho pretende traçar algumas das principais perspectivas reducionistas da assimetria causal do século XX, objetivando esclarecer os principais problemas existentes nas mesmas e tentando fornecer perspectivas para a continuidade do debate.

Inicialmente tratamos do problema visualizado por Bertrand Russell acerca da incompatibilidade entre a assimetria causal e a simetria das Leis da Física. Em seguida, mostramos como Hans Reichenbach tenta sanar o problema, com a sua robusta teoria que pretendeu reduzir a causação à entropia. Logo após, abordamos o debate que ocorre após as ideias de Reichenbach que se inicia com a teoria contrafactual de David Lewis e culmina nas críticas recebidas por todos os programas reducionistas apresentados. Por fim, tratamos de como algumas tentativas de se solucionar as críticas feitas especialmente a Lewis e Reichenbach culminam em uma perspectiva macroscópica da causação, e das implicações imediatas de tal perspectiva.

Palavras-chave: Assimetria causal. Reduccionismo. Contrafactuais. Entropia. Reichenbach. David Lewis.

ABSTRACT

The second half of twentieth century is marked by an intense debate about causation. One of the main problems in this debate is the need to determine a correspondent in the physical world or in the laws of physics to causal asymmetry. Thus, the present work intends to outline some of the main reductionist perspectives of the causal asymmetry of the twentieth century, aiming to clarify the main problems in these perspectives and trying to provide perspectives for the continuity of the debate.

First, we deal with the problem visualized by Bertrand Russell about the incompatibility between causal asymmetry and the symmetry of the Laws of Physics. Then, we show how Hans Reichenbach tries to remedy the problem with his robust theory that he intended to reduce causation to entropy. Soon after, we approach the debate that takes place after Reichenbach's ideas that begins with the counterfactual theory of David Lewis and culminates in the criticisms received by all the reductionist programs presented. Finally, we discuss how some attempts to solve the criticisms made especially to Lewis and Reichenbach culminate in a macroscopic perspective of causation, and the immediate implications of such a perspective.

Keywords: Causal asymmetry. Reductionism. Counterfactuals. Entropy. Reichenbach. David Lewis.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PE: Princípio da Entropia.

PH: Past Hypothesis.

AKL: Albert, Kutach, Loewer.

EPR: Einstein, Podolsky e Rosen

LISTA DE NOTAÇÕES

ΔU	Variação da energia interna de um gás
Q	Calor trocado por um gás
W	Trabalho realizado por um gás
ϵ	Rendimento de uma máquina térmica
T	Temperatura de um gás (em escala Kelvin)
ΔS	Variação da entropia
μ	Número de microestados
N	Número de partículas
k	Constante de Boltzmann
$\ln$	Logaritmo natural
w	Número de microestados de um dado macroestado
E	Evento
$P(A)$	Probabilidade de ocorrência de um evento A
$P(A, B)$	Probabilidade de ocorrência de um evento A, dado que um evento B ocorre
$>$	Maior que
$P(A, B)$	Probabilidade de ocorrência de dois eventos A e B
$\sim$ e $\neg$	Negação
$>>$	Condicional contrafactual
C	Causa
E	Efeito
w	Mundo possível
$\wedge$	Conjunção
$\rightarrow$	Condicional material

$\vee$	Disjunção
$\leftrightarrow$	Bi-implicação

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados de um movimento retilíneo uniforme hipotético	25
Tabela 2 – Dados de um movimento retilíneo uniformemente variado hipotético.....	25
Tabela 3 – Estados possíveis de um sistema de 4 partículas alocadas em uma caixa com dois lados iguais.....	41
Tabela 4 – Quadro comparativo das concepções reducionistas.....	98

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - A representação da órbita elíptica de um planeta ao redor do Sol. O movimento gravitacional é temporalmente simétrico	28
Figura 2 - Esquema de uma máquina térmica.....	33
Figura 3 - Esquema de uma máquina térmica ideal.....	34
Figura 4 - Gráfico $P \times V$ do Ciclo de Carnot.....	34
Figura 5 - Uma partícula em uma caixa dividida em dois lados iguais.....	37
Figura 6 - Uma partícula em duas situações possíveis após a remoção do anteparo: do lado direito e do lado esquerdo da caixa.....	38
Figura 7 - Duas partículas em uma caixa dividida em dois lados iguais.....	38
Figura 8 - As possíveis distribuições de duas partículas em uma caixa dividida em dois lados iguais.....	39
Figura 9 – Distinção superficial imagética entre microestado e macroestado.....	40
Figura 10 - Diagrama de posições da bola no lançamento oblíquo.....	51
Figura 11 - Diagrama de posições das duas bolas no lançamento oblíquo.....	52

Figura 12 - Um exemplo de rede causal fechada, em que não há uma ordem temporal para os eventos Q e R.....	54
Figura 13 - A curva da entropia em um sistema fechado.....	58
Figura 14 - Esferas de pedra da Costa Rica.....	60
Figura 15 - Bifurcação conjuntiva aberta para o futuro.....	63
Figura 16 - Bifurcação conjuntiva aberta para o passado.....	64
Figura 17 – A estratégia da terceira seta.....	81
Figura 18 – Uma representação imagética da história do mundo a partir de PH.....	94

SUMÁRIO

Introdução	16
 Capítulo 1. As leis da Física e a assimetria causal	21
1.1. Observações preliminares	21
1.2. A crítica de Bertrand Russell à relação entre Física e causação	22
1.3. Simetria e leis físicas.....	24
1.3.1. Simetria espacial das leis da Física	24
1.3.2. Simetria temporal das leis da Física	27
1.4. A termodinâmica e a questão da assimetria.....	30
1.4.1. Breve panorama acerca da Revolução Industrial	30
1.4.2. Lei Zero e Primeira Lei da Termodinâmica	31
1.4.3. A Segunda Lei da Termodinâmica e o princípio da entropia	32
1.4.4. A mecânica estatística e a reinterpretação do conceito de entropia	37
1.5. Considerações finais	42
 Capítulo 2. A teoria causal de Hans Reichenbach	44
2.1. Observações preliminares	44
2.2. Ludwig Boltzmann, Entropia e Mecânica Estatística	45
2.3. A teoria causal reducionista de Hans Reichenbach.....	48
2.3.1. A concepção de Filosofia Científica	48
2.3.2. A redução da assimetria da causação à assimetria da entropia	50
2.4. Considerações finais	64
 Capítulo 3. O debate acerca das teorias reducionistas contemporâneas	67
3.1. Observações preliminares	67
3.2. O Pós-Reichenbach: A teoria contrafactual de David Lewis e uma outra abordagem para o screening-off.....	68
3.2.1. O elemento contrafactual na definição de causa em David Hume	68
3.2.2. A sintaxe da teoria contrafactual de Lewis	69
3.2.3. A semântica de mundos possíveis	70
3.2.4. A assimetria causal contrafactual	73
3.2.5. A assimetria do screening-off: uma nova abordagem	75

3.3. As Críticas recebidas pelos programas reducionistas	80
3.4. Causação fundamentalmente macroscópica: Uma saída?	89
3.4.1. A complexa distinção macro x micro	89
3.4.2. Propostas reducionistas de solução para a questão – a causação macroscópica ..	92
3.4.3. O futuro do debate	97
3.5. Considerações finais	98
 Conclusão	 100
 Referências Bibliográficas	 103

Introdução

Estamos interessados em saber por que os efeitos não ocorrem *antes* de suas causas – em outras palavras, em por que a relação de causa e efeito sempre parece estar alinhada do "passado para o futuro", e não do "futuro para passado". (Por uma questão de simplicidade, vamos ignorar por enquanto a possibilidade de casos raros de causação retrógrada, e também possíveis casos de causação simultânea.) Observe que essa questão pressupõe que a relação causa-efeito é ela mesma assimétrica – isto é, que causas e efeitos podem ser distinguidos de alguma forma.¹

A metafísica da causação é uma das mais antigas questões da filosofia ocidental. Desde os filósofos pré-socráticos, em sua procura pela *Arché*², a ideia de causa tem sido a responsável pela criação de problemas filosóficos importantes e por tentativas de solucioná-los. Aristóteles, o primeiro filósofo a tornar a ideia de causa uma espécie de mote da filosofia, identificou a existência de ao menos quatro causas distintas: formal, material, motriz e final. Essa quadripartição do conceito de causa permeou a filosofia medieval e, com o advento da revolução científica e a ascensão das ciências da natureza, acabou tornando-se cada vez mais concentrada na ideia de causa motriz (que é aquela a que nos referimos quando, corriqueiramente, dizemos que um determinado fenômeno é causa do outro – identificado como efeito).

David Hume, um dos filósofos mais importantes da modernidade, colocou-se a seguinte questão: o que, afinal, é responsável pela capacidade existente nas pessoas de afirmarem que um dado fenômeno X é a causa de um fenômeno Y (efeito)? Ao investigar essa questão, Hume irá concluir que o fato de atribuímos a existência de uma relação causal em uma determinada situação não deriva nem de alguma inferência racional nossa e nem da observação de casos particulares, mas da nossa capacidade de

¹ Huw Price, *Time's arrow and Archimedes point*, p. 136 e 137: "We are interested in why effects don't occur *before* their causes—in other words, in why the cause-effect relation always seems to be aligned "past to future," and not "future to past." (For simplicity let us ignore for the time being the possibility of rare cases of backward causation, and also possible cases of simultaneous causation.) Notice that this issue presupposes that the cause-effect relation is itself asymmetric—that is, that causes and effects can be distinguished in some way." Tradução nossa. Grifo do autor.

² Do grego ἀρχή, designa o princípio de todas as coisas.

atribuir regularidades à natureza através do hábito. Por exemplo: Imagine que todos os dias em que chego em casa a mesa da cozinha está disposta de uma determinada forma. Por uma simples questão de hábito, mesmo que eu não esteja vendo a mesa da cozinha em um dado momento, imagino que ela esteja na posição de costume.

Ao atribuir as nossas conclusões acerca da experiência e de inferências causais ao hábito, Hume fornece a seguinte definição de causa:

Objetos semelhantes estão sempre conjugados a objetos semelhantes; disso temos experiência. Podemos, portanto, em conformidade com essa experiência, definir uma causa como *um objeto, seguido de outro, tal que todos os objetos semelhantes ao primeiro são seguidos por objetos semelhantes ao segundo*. Ou, em outras palavras, *tal que, se o primeiro objeto não existisse, o segundo jamais teria existido*. (HUME, 1748, seção 7, parágrafo 29)

É nítido que a definição acima dá margem para que ao menos duas interpretações distintas sejam feitas acerca da mesma (uma regularista e outra contrafactual). No entanto focaremos, a priori, na primeira definição – que apresenta um enfoque regularista acerca do que é a causação. De acordo com tal perspectiva, o fato de dizermos que um determinado evento é causa do outro está unicamente relacionado ao fato de estarmos acostumados a vê-lo antecedendo aquele que é dito como sendo o seu efeito.

Influenciado de forma decisiva pelos escritos de David Hume, o filósofo Immanuel Kant elabora uma teoria do conhecimento que visa superar a dicotomia entre racionalismo e empirismo que vigorava em sua época. Assim, ao contrário de Hume que estabelece a causalidade como sendo mero fruto do hábito, Kant a compreende como uma categoria do entendimento. Com isso, Kant desloca a causalidade do a posteriori, para o a priori, tornando-a parte do mecanismo de compreensão do mundo do homem.

Após os escritos de Kant e o desenvolvimento da ciência moderna, torna-se robusta a ideia de que a função das ciências da natureza é relacionada com a procura pela causa dos fenômenos. As leis da natureza, estando ancoradas na nossa forma particular de entender o mundo (forma esta que possui categorias como a causalidade), possuem necessariamente em seu alicerce a ideia de causação. Nesse sentido, pensar que a causalidade era necessária para o desenvolvimento da ciência era algo comum.

Entretanto, com o passar dos anos, a ideia de que a causalidade é necessária para o desenvolvimento das ciências e suas leis começa a tornar-se complexa e de difícil sustentação. Um dos principais problemas nesse aspecto é o chamado problema da

assimetria causal. A causalidade é essencialmente assimétrica no tempo, ou seja, há uma assimetria temporal entre os eventos causa e efeito de forma que a causa precede o efeito, mas o oposto nunca ocorre. No entanto, as leis da Física são todas simétricas no tempo, ou seja, a inversão do sentido temporal dos eventos não altera a validade das leis. Sendo assim, como tornar compatível a relação entre causalidade e as leis da Física? Qual seria, portanto, o fundamento da assimetria causal? Essas questões, se analisadas apenas de perspectivas kantiana e humiana, parecem não ter uma resposta clara.

Desta forma, o problema a ser encarado na presente dissertação de mestrado é o problema da assimetria causal. Partimos, na construção da mesma, da hipótese de que para se fundamentar a assimetria causal é necessário inverter a perspectiva que remete a Kant: A invés de fundamentarmos as propriedades cognoscíveis do mundo físico na causação, devemos fundar a causação no mundo físico, usando as suas características em termos de irreversibilidade para explicar a assimetria causal. O tratamento dessa hipótese se dá, portanto, ao longo dos três capítulos da dissertação.

No primeiro capítulo da dissertação, trataremos da questão da simetria nas leis da Física. Partindo da crítica de Bertrand Russell à perspectiva corrente de que as leis da Física derivam da causação, tomaremos um ponto específico desta crítica: o fato de que a simetria existente nas leis da Física não é compatível com a assimetria da relação causal. A partir disso, discorreremos durante todo o capítulo mostrando que embora as leis da Física sejam de fato simétricas, a entropia apresenta-se como uma espécie de feição assimétrica da realidade. Iniciaremos tal empreitada mostrando como a mecânica clássica é simétrica espacialmente e temporalmente e estendemos tal raciocínio para os outros domínios da Física. Na sequência, apresentaremos a termodinâmica, as suas leis (inclusive com um panorama histórico) e o conceito de entropia para mostrar que embora as leis da Física sejam temporalmente simétricas, há algo na natureza que é responsável pela irreversibilidade dos fenômenos cotidianos. Em seguida, mostraremos como a mecânica estatística interpreta o conceito de Entropia a partir da probabilidade e dos conceitos de macroestado e microestado.

No segundo capítulo da dissertação, trabalharemos com aquela que pode ser vista como sendo a mais forte e robusta interpretação reducionista da causação: a proposta reducionista de Hans Reichenbach. Hans Reichenbach recebeu uma influência muito grande de Ludwig Boltzmann. Devido a isso, o início do capítulo gira em torno

das principais ideias de Boltzmann acerca da mecânica estatística e das consequências da mesma para a entrada definitiva da probabilidade no âmbito das ciências e para a elevação de patamar da Física Experimental. Esses dois fenômenos foram fundamentais para o desenvolvimento não só da Física do século XX, mas da Filosofia da Ciência como um todo.

Baseado nos escritos de Boltzmann, Reichenbach lança uma proposta que inverte o ponto da crítica de Bertrand Russell: ao invés de tornar a Física dependente da causação, Reichenbach visa tornar a causação dependente da Física. Perspectivas dessa natureza são chamadas reducionistas por tornarem um determinado ponto ou elemento redutível à algo de ordem material. O que Reichenbach faz é mostrar que leis causais não são básicas, mas dedutíveis a partir de leis empíricas e probabilísticas. Com isso, Reichenbach traça um longo caminho argumentativo para demonstrar de que forma a causação é redutível à entropia e que, por sua vez, a direção do tempo é redutível à direção da causação. Nesse caminho argumentativo, o que é de interesse do nosso trabalho é a demonstração feita pelo autor acerca do modo como a assimetria causal pode ser reduzida à assimetria da entropia à partir especialmente da mecânica estatística de Boltzmann.

No terceiro e último capítulo da dissertação abordaremos o desenrolar do debate acerca das propostas reducionistas da assimetria causal após as ideias de Hans Reichenbach. Inicialmente, trataremos do pensamento do filósofo David Lewis e da sua teoria contrafactual da causação. Apresentaremos a ideia de contrafactuais e de condicional contrafactual para, a partir daí, mostrar de que forma Lewis conecta a causalidade aos contrafactuais. Em seguida, apresentaremos a apropriação feita por Lewis da semântica de mundos possíveis para explicar a supracitada conexão para, a partir disso, abordarmos a ideia de sobredeterminação do futuro como elemento explicativo da assimetria causal.

Ainda dentro de uma perspectiva reducionista, abordaremos superficialmente o desenrolar contemporâneo da ideia de compartimentalização (screening-off) como elemento garantidor da assimetria causal. Tal ideia surge a partir de uma apropriação do pensamento de Hans Reichenbach feita pela teoria probabilística da causação. No entanto, tal perspectiva, assim como a perspectiva de Lewis, não demonstram a redução da causação à Física como Reichenbach faz. Em ambas, a redução ocorre em relação a elementos do mundo físico.

Após tratarmos das abordagens supra, apresentaremos as críticas recebidas por ambas. Essas críticas foram feitas especialmente por Huw Price e Brad Weslake. O que essas críticas mostram é que em todos os casos (desde Reichenbach a David Lewis), a teoria recorre a estratégias que se utilizam de bifurcações conjuntivas que apenas possuem sentido em uma perspectiva macroscópica. Price e Weslake mostram que, a um nível microscópico e quântico, as teorias citadas não conseguem explicar a assimetria causal pois não há, nesses domínios, nenhuma bifurcação conjuntiva que possa ser relacionada à causação.

Por fim, trataremos das tentativas de se salvar as perspectivas reducionistas da assimetria da causação das críticas recebidas por elas, e das consequências de tais tentativas.

Capítulo 1

As leis da Física e a assimetria causal

A irreversibilidade é causada pelos acidentes da vida. Se começamos com algo que está separado e fazemos mudanças irregulares, ele se torna mais uniforme; mas se começamos com algo uniforme e fazemos mudanças regulares semelhantes, ele não se separa. Ele *poderia* se separar. As leis da Física não impedem que as moléculas se separem depois das colisões. Isso apenas é improvável. Não aconteceria nem se esperássemos 1 milhão de anos. (FEYNMAN, Sobre as leis da Física, p. 119)

1.1 – Observações preliminares

Quando dizemos que há, em um dado fenômeno ou processo, uma relação de causação, ou seja, um fato em que podemos afirmar que alguma coisa causou outra coisa, relacionamos um “dado” do mundo físico àquilo que denominamos causa. Assim, parece ser estreita a relação entre a Física e os processos causais. Entretanto, tal relação apresenta alguns problemas como, por exemplo, o fato de as leis da Física serem quase que totalmente simétricas e a relação de causa e efeito ser assimétrica.

Neste primeiro capítulo da dissertação, abordarei a relação entre Física e causação tendo como foco a assimetria. Em um primeiro momento, falarei sobre a crítica apresentada por Bertrand Russell em seu artigo “*On the notion of cause*” de 1913 sobre a ideia de que a noção de causa é importante para o fazer científico dando uma especial ênfase na crítica do autor sobre a incompatibilidade entre a assimetria da causação e o fato de as leis da Física serem todas (segundo Russell) simétricas.

Em um segundo momento, farei um balanço geral da relação entre Leis Físicas, simetria e ordem temporal, para mostrar de que forma os conceitos simetria e ordem estão presentes nas Leis da Física.

Em seguida, farei uma abordagem da Segunda Lei da Termodinâmica e da

forma com que tal lei se diferencia dos demais princípios Físicos pelo fato de apresentar um caráter aparentemente assimétrico. Na apresentação de tal lei, tratarei primeiramente dos enunciados de Clausius e Kelvin como uma formulação primitiva do princípio do aumento da entropia e, em seguida, abordarei a concepção de Boltzmann de mecânica estatística para mostrar como, mediante uma leitura estatística dos fenômenos térmicos, o conceito de entropia sofreu alteração.

Ao final do capítulo, traçarei sob a perspectiva de alguns físicos a forma distinta com que a Segunda Lei da Termodinâmica se apresenta em relação aos demais princípios físicos, principalmente no que diz respeito à questão da simetria. Mostrarei, por fim, que a Segunda Lei da Termodinâmica, tendo um princípio em que a ordem temporal é fundamental na sua concepção³, acaba por abrir caminho para novas interpretações da relação entre Física e Causação.

1.2 – A crítica de Bertrand Russell à relação entre Física e causação

Em 1913, no seu artigo *On the notion of cause*, o filósofo Bertrand Russell, ao perceber uma dissonância entre a ciência (em especial a Física) e a noção de *causa* que já era, para o filósofo, parte de uma teoria do conhecimento ultrapassada, questiona a aplicabilidade de tal noção de causa nas ciências, ou seja, critica a viabilidade de uma filosofia da ciência que se desenvolvesse a partir de uma filosofia da causação. Russell diz:

Todos os filósofos, de todas as escolas, pensam a causação como sendo um dos fundamentais axiomas ou postulados da ciência, ainda que nas ciências avançadas como a astronomia gravitacional a ocorrência da palavra causa seja nula... A lei da causalidade, eu acredito, como muitas que chamam a atenção de filósofos, é uma relíquia de tempos remotos que sobrevive, como a monarquia, somente pela ideia equivocada de que não causa males.⁴

A ácida crítica de Russell, que pode ser observada no trecho acima, se desenvolve por todo o seu artigo. O que é possível notar no artigo é que o mesmo possui como sustentáculo os seguintes pontos:

³ Trata-se do princípio do aumento da entropia, que aqui será designado por *PE*.

⁴ Russell, *On the notion of cause*, p. 180: “All philosophers, of every school, imagine that causation is one of the fundamental axioms or postulates of Science, yet, oddly enough, in advanced sciences such as gravitational astronomy, the word ‘cause’ never occurs... The law of causality, I believe, like much that passes muster among philosophers, is a relic of a bygone age, surviving like the monarchy, only because it is erroneously supposed to do no harm.” Tradução nossa.

- *A forma como descrevemos as causas torna elas insuficientes para a concretização os seus efeitos;*
- *A assimetria temporal das relações causais (a causa ser anterior ao efeito) é uma ilusão;*
- *Uma concepção local de causa traz graves problemas para a própria ciência.*

Dos três pontos onde incide a crítica de Russell, pode-se perceber que o maior problema reside na assimetria temporal das relações causais, pois embora a definição de causa e a concepção de ação local da causa possam ser alteradas, não há possibilidade de alteração da assimetria temporal da relação entre causa e efeito – ou seja, o efeito é sempre antecedido por aquilo que o causa, qualquer que seja a definição de causa, o que segundo Russell não é uma característica das Leis da Física. Este ponto pode ser observado no seguinte trecho do artigo em que Russell discute a hipótese da existência de uma “lei” (que para muitos seria a lei causal) acerca da qual a Física estaria supostamente assentada:

A lei não diferencia entre passado e futuro: o futuro “determina” o passado exatamente da mesma forma que o passado “determina” o futuro. A palavra “determina”, aqui, possui um significado puramente lógico: certo número de variáveis “determina” outra variável se esta é uma função daquelas.⁵

Assim, Russell evidencia o fato de que as Leis da Física não possuem nenhuma anterioridade que se aproxime daquilo que comumente se chama de “lei causal” afirmando que a

lei da gravitação ilustrará o que ocorre em qualquer ciência avançada. Em situações de gravitação mútua de corpos, não há nada que possa ser chamado de causa, nem nada que possa ser chamado de efeito; há somente uma fórmula.⁶

De fato, se pensarmos acerca das equações fundamentais da Física (como o princípio fundamental da dinâmica, expresso pela Segunda Lei de Newton), ou de grande parte dos seus princípios básicos, não há nada em tais leis ou princípios que nos diga que há ali uma relação assimétrica. Assim, como salienta Russell, a própria distinção entre a simetria das leis da Física e assimetria das relações causais aponta para

⁵ Ibid., p. 195: “The law makes no difference between past and future: the future “determines” the past in exactly the same sense in which the past “determines” the future. The word “determine,” here, has a purely logical significance: a certain number of variables “determine” another variable if that other variable is a function of them.” Tradução nossa.

⁶ Ibid., p. 194: “The law of gravitation will illustrate that occurs in any advanced science. In the mentions of mutually gravitating bodies, there is nothing that can be called a cause, and nothing that can be called an effect; there is merely a formula.” Tradução nossa.

uma independência de ambas e torna a noção de causa obsoleta para a Física e o desenvolvimento da mesma. Acerca do que Russell defende, o filósofo Christopher Hitchcock diz:

Russell estava certo de que a ciência em geral não é fundamentada em alguma "lei da causalidade". Além disso, ele estava certo de que a palavra "causa" não aparece em ciências como a astronomia gravitacional clássica. Há, no entanto, muito poucos campos como este; a astronomia gravitacional clássica é incomum em vários aspectos: é remota de aplicações práticas, pretende ser uma teoria universal, e seus princípios podem ser capturados em fórmulas matemáticas simples.⁷

O que a contribuição de Bertrand Russell para a filosofia da causação enfatiza fundamentalmente é que a anterioridade da relação de causa e efeito em relação à Física é falsa, dentre outros fatores, devido à questão da simetria das leis físicas. Entretanto, a nossa experiência cotidiana possui assimetrias semelhantes àsquelas presentes nas relações causais. Parece haver, portanto, uma dissonância entre a Física e a realidade que ela própria descreve.

1.3 – Simetria e leis físicas

A relação entre simetria e leis da Física gera automaticamente uma pergunta: que tipo de simetria queremos tratar? Para o caso em questão, trataremos das simetrias espacial e temporal.

1.3.1 – Simetria espacial das leis da Física

Para verificarmos a simetria espacial das leis da Física, é necessário que pensemos da seguinte forma: será que há alguma exigência por parte das leis da Física que aquilo que ocorre em uma direção e um sentido no espaço não possa ocorrer no sentido oposto? A seguir, usaremos alguns princípios da Física Clássica para tratar dessa questão.

⁷ Hitchcock, *What Russell Got Right*, p. 57: “So let us take stock. Russell was right that science in general is not grounded in some ‘law of causality’. Moreover, he was right that the word ‘cause’ does not appear in sciences ‘like’ classical gravitational astronomy. There are, however, very few fields like this; classical gravitational astronomy is unusual in a number of respects: it is remote from practical applications, it purports to be a universal theory, and its principles can be captured in simple mathematical formulas.” Tradução nossa.

Como primeiro exemplo de análise, tomaremos a translação de um corpo em movimento retilíneo uniforme, conforme os dados da tabela abaixo estão mostrando:

Tabela 1 – Dados de um movimento retilíneo uniforme hipotético

POSIÇÃO (em metros)	0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0
TEMPO (em segundos)	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0

O movimento retilíneo uniforme é um tipo de movimento regido pelo Princípio da Inércia (mais popularmente conhecida como Primeira Lei de Newton), que determina que se não há a ação de uma força resultante sobre um corpo, ou seja, se o somatório das forças que agem sobre um corpo for nulo, a razão entre distância percorrida e tempo de percurso se mantém constante durante todo o processo. Se invertêssemos as posições da tabela acima (trocando a primeira pela última, a segunda pela penúltima e assim por diante) observaríamos uma mudança espacial na translação do móvel. Entretanto, tal mudança não acarretaria nenhuma alteração prática na razão entre distância percorrida e tempo de percurso, o que mantém constante o valor da velocidade⁸. A manutenção da constância da velocidade por si só já garantiria que, mesmo com a inversão espacial da sequência de posições do corpo, a lei da inércia fosse mantida.

Como segundo exemplo, tomaremos o caso de um corpo que se move em movimento retilíneo uniformemente variado, de acordo com os valores de posição e tempo tabelados à seguir:

Tabela 2 – Dados de um movimento retilíneo uniformemente variado hipotético

POSIÇÃO (em metros)	0,0	1,0	4,0	9,0	16	25	36
TEMPO (em segundos)	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0

⁸ O conceito de velocidade a ser explorado aqui é a rapidez com que um movimento se dá.

Sabemos que o movimento retilíneo uniformemente variado é uma consequência do chamado Princípio Fundamental da Dinâmica (mais conhecido como Segunda Lei de Newton). Tal princípio determina que quando há alteração na velocidade de um corpo, há sobre tal corpo a ação de uma força resultante que, aplicada em sua massa, seria responsável pela variação da velocidade do mesmo (ou, pela aceleração do mesmo). No caso do MRUV⁹, a aceleração é constante, ou seja, a velocidade varia seguindo uma razão constante. Se considerarmos que o corpo cujo movimento é dado pela tabela 2 parte do repouso, o valor da aceleração do mesmo será de 2 m/s^2 e a sua velocidade, ao final de 6,0 segundos, será de 12 m/s. Fazendo o mesmo procedimento da análise do primeiro exemplo de inverter as posições, teremos uma situação de um corpo que se move inicialmente com velocidade de 12 m/s no sentido retrógrado e que irá reduzindo a sua velocidade até parar. Nesse caso, por mais que haja uma inversão nas posições, o móvel continua tendo a sua aceleração constante de 2 m/s^2 e, portanto, a Segunda Lei de Newton continua válida para o mesmo.

O nosso terceiro exemplo será dado à partir da Lei da Gravitação Universal de Newton. Imaginemos, de forma simplificada, o movimento de translação da Terra ao redor do Sol como um exemplo de aplicação da Lei da Gravitação Universal. Se alterarmos o sentido do giro, ou a posição da Terra na linha que demarca a elipse de sua órbita, não alteraremos a validade e a aplicabilidade de tal Lei. Assim, uma mudança qualquer na posição e na orientação de um corpo celeste que se move ao redor de outro não causa nenhum problema para a Lei.

Além dos exemplos relativos à questão do movimento na mecânica clássica, se fizéssemos a mesma análise com as leis da Eletricidade, do Magnetismo ou da Mecânica Quântica, veríamos que tais leis não diferenciam translações espaciais. A simetria espacial é, portanto, uma prevalência nas leis físicas básicas. Qualquer mudança nas coordenadas de eixos espaciais de referência, ou inversão espacial das posições ocupadas por um dado corpo, não acarreta nenhuma mudança nas mesmas.

⁹ Movimento retilíneo uniformemente variado.

1.3.2 – Simetria temporal das leis da Física

A questão da simetria temporal nas leis da Física e da diferenciação temporal na ocorrência de eventos é, desde o início do século XX, um tema importante em discussões acerca da Filosofia da Ciência (em especial, da Filosofia da Física).

Em uma conferência denominada *simetria nas leis físicas*, o físico norte-americano Richard Feynman introduz a discussão acerca da simetria temporal nas leis físicas fazendo a seguinte afirmação:

Começamos com um planeta girando ao redor do Sol em determinada direção; se pudéssemos recomençar duas horas depois, ou dois anos depois, com o planeta e o Sol nas mesmas condições iniciais, então ele se moveria da mesma maneira, pois a lei da gravitação fala apenas da velocidade, nunca de um tempo absoluto a partir do qual deveríamos começar a medir as coisas. Nesse exemplo específico, na verdade, não temos certeza. Existe a possibilidade de a força da gravidade mudar com o tempo. Isso significaria que a translação no tempo não é uma proposição correta, pois a constante gravitacional seria menor daqui a alguns bilhões de anos. Logo, se daqui a bilhões de anos realizássemos o experimento com o planeta e o Sol, o movimento não seria o mesmo. Mas, até onde sabemos – só discuto as leis da física até onde sabemos, embora adorasse poder discuti-las em termos de como as conheceremos no futuro! –, um deslocamento no tempo não faz diferença.¹⁰

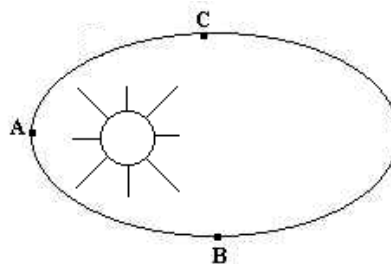
A citação acima refere-se a uma questão importante acerca da simetria temporal nas leis da física: para fazermos a nossa análise, devemos considerar as leis como elas de fato são para nós, e desconsiderar completamente a possibilidade de que as mesmas possuam um caráter de mutabilidade. No caso supra Feynman aborda a Lei da gravitação e conclui que, tendo em vista essa lei e as suas características, uma possível mudança no tempo não implicaria nenhum problema para a mesma. Em outra conferência, denominada *a distinção entre passado e futuro*, Feynman retoma o caso da simetria temporal na lei da gravitação, desta vez pensando sobre uma inversão no sentido do tempo, e afirma:

Vamos tomar o exemplo típico da lei da gravitação. Um planeta gira em alguma direção em torno do Sol. Eu filmo esse movimento e passo o filme ao contrário. Que acontece? O planeta gira em torno do Sol – em sentido oposto, é claro –, mas continua a descrever uma elipse, varrendo áreas iguais em tempos iguais. Tudo se passa exatamente como deveria. Esse movimento não pode ser distinguido daquele que vai em outro sentido. Portanto, a lei da gravitação não discrimina a direção do tempo. ...Se inverte o tempo, as forças não mudam; logo, as variações de velocidade também não se alteram. Cada velocidade sofre alterações sucessivas, na sequência

¹⁰ Feynman, *Sobre as Leis da Física*, p. 93.

inversa das anteriores. É fácil mostrar que a lei da gravitação é reversível no tempo.¹¹

Figura 1 – a representação da órbita elíptica de um planeta ao redor do Sol. O movimento gravitacional é temporalmente simétrico.¹²



Além da gravitação, podemos pensar nas outras leis. “E as leis da eletricidade e do magnetismo? São reversíveis no tempo. E as leis das interações nucleares? Até onde sabemos, também são”¹³ Assim, como disse o próprio Russell, parece haver uma simetria temporal nas leis da física, de forma que elas não distinguem passado e futuro. Isso pode ser traduzido também nas seguintes palavras de Barry Loewer:

A maioria das candidatas a lei fundamental da dinâmica que foram levadas a sério pelos físicos são temporalmente simétricas. Por "temporalmente simétrico" quero dizer que se uma sequência de eventos fundamentais é compatível com as leis dinâmicas, há uma inversão temporária na sequência de eventos fundamentais que também é compatível com as leis. Para a mecânica clássica, se uma sequência de posições de partículas for compatível com as leis, a sequência inversa também é. Para leis fundamentais, um tipo de sequência não é mais comum ou provável do que a sequência temporalmente invertida.¹⁴

Quando, entretanto, observamos os fenômenos da natureza, temos a nítida noção de que as coisas sempre ocorrem de forma que, se invertermos a ordem dos eventos, temos uma aberração. Imagine que estranho seria se, após esbarrassemos em um caríssimo vaso da dinastia Ming e ele se espatifasse completamente em sua queda ao

¹¹ Ibid., p. 116.

¹² Vamos supor que a órbita do planeta é, partindo de A, dada no sentido antihorário (para B). Uma inversão temporal de fatos, que faria o planeta girar no sentido horário, não geraria nenhum problema para as leis que descrevem esse tipo de movimento.

¹³ Feynman, *Sobre as leis da Física*, p. 116.

¹⁴ Loewer, *Counterfactuals and the Second Law*, In: CORRY, R. PRICE, H., *Causation, Physics and the Constitution of Reality*. p. 297: “As I mentioned earlier, most candidates for the fundamental dynamical laws that have been taken seriously by physicists are temporally symmetric. By ‘temporally symmetric’ I mean, that if a sequence of fundamental events is compatible with the dynamical laws then there is a temporally reversed sequence of fundamental events that is also compatible with the laws. For classical mechanics if one sequence of particle positions is compatible with the laws so is the reverse sequence. As far as the fundamental laws are concerned, one kind of sequence is no more common or likely than its associated temporally reversed sequence.” Tradução nossa.

chão, os seus incontáveis cacos se reagrupassem automaticamente tomando a forma original do vaso e sem deixar qualquer rastro de que a queda ocorrera antes. Sabemos, certamente, que essa situação jamais ocorreria na realidade. Então, se as leis da natureza são temporalmente simétricas, porque os fenômenos naturais são irreversíveis? Feynman diz:

A natureza é feita de átomos. Nós também. Obedecemos às leis da física. Então, essa distinção entre passado e futuro, essa irreversibilidade dos fenômenos permite a óbvia interpretação de que algumas leis do movimento dos átomos devem ser de mão única. Eles não podem se deslocar em qualquer direção. Em algum lugar deve haver um princípio que diga que as coisas só podem seguir numa direção, nunca em outra.¹⁵

O que o trecho acima denota é que, para além das leis que constituem a física e que, como foi possível perceber, não distinguem passado e futuro, há alguma coisa na natureza (um “princípio”, como bem disse Feynman) que determina a irreversibilidade dos fenômenos. Esse princípio evidenciado por Feynman é melhor evidenciado na seguinte passagem:

Quando as coisas tem a mesma temperatura, não há energia disponível para fazer nada. O princípio da irreversibilidade é o seguinte: se coisas com temperaturas diferentes são deixadas por conta própria, as temperaturas se aproximam e a disponibilidade de energia decresce com o tempo.

Isso é outro modo de se referir à lei da entropia, que diz que a entropia sempre aumenta. As palavras não importam; o importante é que a disponibilidade de energia sempre diminui. É uma característica do mundo, decorrente dos movimentos moleculares irregulares. Coisas com temperatura diferentes, deixadas por conta própria, tendem à mesma temperatura. Se você tem duas coisas com a mesma temperatura, como a água sobre um fogão apagado, a água não vai congelar e o fogão esquentar. Mas se você tem gelo sobre um fogão aceso, a coisa vai para o outro lado. Essa unidirecionalidade corresponde sempre a uma redução da energia disponível.¹⁶

Há, portanto o recurso ao princípio da entropia para que a explicação sobre a irreversibilidade dos fenômenos ocorra. Para tal, entretanto, o autor lança mão de conceitos como energia e temperatura. Em que consiste então o dito princípio da entropia? Veremos, a seguir, como os conceitos energia, temperatura e entropia estão relacionados dentro do universo da termodinâmica.

¹⁵ Feynman, *Sobre as leis da Física*, p. 115.

¹⁶ *Ibid.*, p. 127.

1.4 – A termodinâmica e a questão da assimetria

As Leis da Termodinâmica tiveram o ápice do seu desenvolvimento no século XIX com o advento da Revolução Industrial e a tentativa de se compreender com maior profundidade o funcionamento da máquina à vapor. Para se obter uma maior eficácia de máquinas térmicas, era necessário que se compreendesse bem alguns conceitos como calor e temperatura, bem como a relação entre os mesmos. Nesse contexto, foram desenvolvidas a Lei Zero, a Primeira e a Segunda¹⁷.

1.4.1- Breve panorama acerca da Revolução Industrial.

A Primeira Revolução Industrial foi um período importante da história ocidental que teve início na Inglaterra, em meados do século XVIII. Para o historiador Eric Hobsbawm, a Revolução Industrial explodiu precisamente nas décadas de 1780 e só passou a ser retratada nas artes e na literatura por volta de 1830, quando ainda ocorria (HOBBSAWN, 1996). Nesse período ocorre uma substituição gradual da produção artesanal pela maquinofatura. O desenvolvimento tecnológico das máquinas é um processo que irá ocorrer durante a própria Revolução, não constituindo assim numa pré-condição para que a mesma acontecesse.

Durante o supracitado desenvolvimento tecnológico em relação ao processo de produção envolvendo máquinas, destaca-se muito o trabalho do matemático e engenheiro James Watt (1736-1819), cujas descobertas em relação ao calor foram fundamentais para a criação da máquina térmica (um dos principais trunfos da Revolução Industrial).

Todo o progresso tecnológico decorrente da Revolução Industrial acabou por influenciar demasiadamente os estudos acerca da relação entre calor, temperatura e energia. Esses estudos culminaram, no século XIX, naquilo que conhecemos como sendo as Leis da Termodinâmica.

¹⁷ A Terceira Lei foi desenvolvida posteriormente. Não abordarei ela no presente trabalho devido à sua pequena importância para o desenvolvimento do mesmo.

1.4.2- Lei Zero e Primeira Lei da Termodinâmica.

A Lei Zero da Termodinâmica diz que “se cada um dos sistemas A e B está em equilíbrio térmico com um sistema C, então A e B estão em equilíbrio térmico”¹⁸. O termo *equilíbrio térmico* deve aqui ser entendido como a circunstância em que dois sistemas, ao atingirem a mesma temperatura¹⁹, entram em equilíbrio. Isso significa que não haverá fluxo de calor²⁰ entre tais corpos.

A Primeira Lei da Termodinâmica é mais conhecida como sendo a aplicação do princípio de transformação de energia para processos térmicos. Tal lei diz, de uma maneira geral, que se energia em forma de calor é transmitida para um dado sistema (por exemplo, um gás) e tal sistema realiza um trabalho menor do que o valor total de calor fornecido ao mesmo, a diferença entre o calor fornecido a ele e o trabalho realizado por ele é responsável por promover a variação da energia interna do mesmo, ou seja, por aumentar o nível de agitação das partículas (a temperatura) que o constituem. A importância de tal lei se dá no fato de que ela estabelece uma identidade entre as grandezas calor e energia. A equação que representa os fundamentos dessa lei é dada por:

$$\Delta U = Q - W$$

Equação 1

ΔU indica a variação da energia interna do corpo/sistema, Q representa a quantidade de calor trocado, e W é o trabalho realizado. A convenção a ser adotada, tendo em vista a equação 1, é de que a variação da energia interna do sistema seja positiva quando houver aumento no valor da sua temperatura, o calor seja positivo quando o fluxo do

¹⁸ Halliday et al., *Fundamentos de Física*, vol. 2 5 ed., p. 207.

¹⁹ O conceito de temperatura deve ser entendido como sendo uma medida relacionada ao grau de agitação médio das partículas de um dado corpo. Assim, dois corpos em equilíbrio térmico possuem partículas com um grau médio de agitação semelhante.

²⁰ O conceito de calor deve ser entendido como a energia térmica que se transfere espontaneamente de um corpo/sistema com maior temperatura para um corpo/sistema com menor temperatura. Se, portanto, dois corpos/sistemas estão em equilíbrio térmico, não haverá fluxo espontâneo de calor de um para outro.

mesmo estiver indo para o sistema e o trabalho seja positivo quando o sistema estiver em processo de expansão, ou seja, quando o seu volume estiver aumentando.

Pensemos agora acerca da aplicabilidade da primeira lei. Um gás considerado ideal pode passar por várias transformações gasosas, dentre elas a transformação isobárica, a isotérmica, a isométrica e a adiabática²¹. A primeira lei, por indicar apenas uma relação de soma algébrica entre calor, trabalho e variação energética, permite que:

- 1- No caso de uma transformação isotérmica, em que não há variação da temperatura e da energia interna do gás, todo o calor fornecido ao gás seja convertido em trabalho;*
- 2- Em uma transformação isométrica, em que o trabalho é nulo, todo o calor fornecido ao gás seja convertido em variação da sua energia interna;*
- 3- Em uma transformação adiabática, uma compressão do gás implique necessariamente no aumento da sua temperatura e, conseqüentemente, de sua energia interna.*

O primeiro caso tratado acima, que fala das implicações de uma transformação isotérmica, nos diz que a observância da primeira lei isolada de qualquer outro princípio permite que possam existir situações em que todo o calor transmitido para um dado corpo possa ser transformado em trabalho. É justamente acerca desse ponto que incide a chamada segunda lei da termodinâmica.

1.4.3- A segunda lei da termodinâmica e o princípio da entropia.

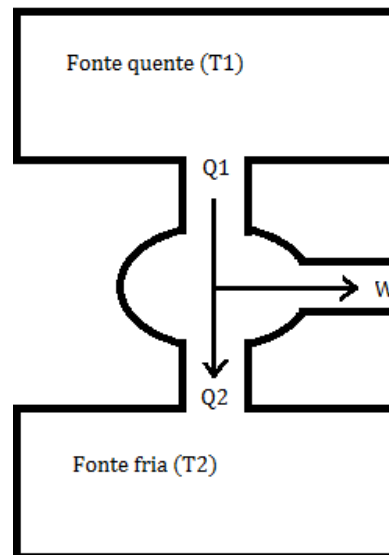
A segunda lei da termodinâmica é o princípio físico que fornece as condições para que processos térmicos – que foram abordados na sessão anterior quando falávamos da primeira lei – ocorram. Antes de falarmos sobre tal princípio e as implicações do mesmo, iremos falar brevemente do Ciclo de Carnot e de sua importância no início da compreensão do funcionamento de máquinas térmicas.

Na primeira metade do século XIX, Sadi Carnot desenvolveu o famoso Ciclo de Carnot para criar um modelo ideal de máquinas térmicas. Antes de abordarmos o

²¹ A transformação isobárica se caracteriza por não ter variação no valor da pressão a que o gás está submetido. A isotérmica mantém o valor da temperatura constante e, com isso, não há variação da energia interna. Na isométrica (isovolumétrica ou isocórica), com a manutenção do volume, não há realização de trabalho. Já a adiabática indica que não há troca de calor entre o sistema e sua vizinhança.

ciclo vamos, entretanto, mostrar a partir do esquema simples a seguir o funcionamento de uma máquina térmica:

Figura 2 – esquema de uma máquina térmica.



A figura acima representa o funcionamento de uma máquina térmica que recebe uma quantidade de calor Q_1 de uma fonte quente (cuja temperatura é T_1), realiza uma quantidade W de trabalho e cede uma quantidade de calor Q_2 para uma fonte fria (cuja temperatura de funcionamento é T_2). O rendimento ϵ de tal máquina, que representa o percentual de energia útil da mesma, é dado pela seguinte equação matemática:

$$\epsilon = \frac{W}{Q_1}$$

Equação 2

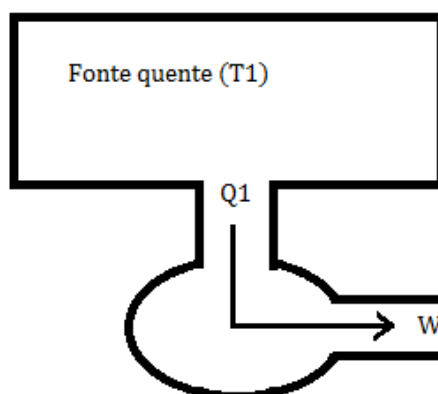
Sabendo que W é o saldo entre Q_1 e Q_2 , temos:

$$\epsilon = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

Equação 3

Uma máquina térmica ideal seria, portanto, aquela que conseguisse converter todo o calor da fonte quente em trabalho, tendo assim um rendimento igual a um.

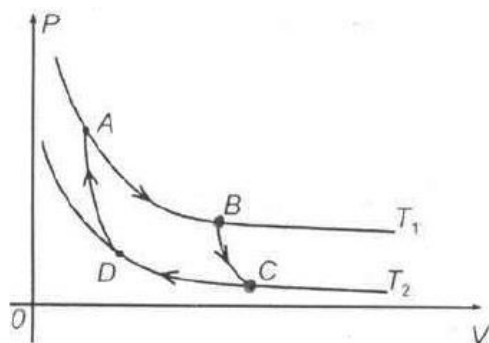
Figura 3 – esquema de uma máquina térmica ideal



Sadi Carnot desenvolveu um ciclo teórico que visava reduzir ao máximo as perdas energéticas, se aproximando ao máximo da máquina ideal. No entanto, irá ficar evidente como mostraremos a seguir que uma máquina térmica que opera em ciclos, mesmo com um funcionamento ideal, não consegue obter um rendimento de 100%.

O Ciclo de Carnot deveria, para estabelecer perdas mínimas de energia, operar entre transformações gasosas de máxima eficiência (isotérmicas), e entre transformações em que não houvesse troca de calor (adiabáticas). Assim, Carnot obteve o seguinte gráfico:

Figura 4 – gráfico $P \times V$ do Ciclo de Carnot



Disponível em: <http://fisicapaidegua.com/prova.php?fonte=AFA&ano=2008>. Acesso: 19/01/2017

Considerando Q_1 o calor trocado durante a transformação isotérmica AB em que a temperatura é T_1 (calor da fonte quente), e Q_2 o calor trocado durante CD com

temperatura T_2 (calor da fonte fria) e sendo BC e DA adiabáticas é possível se chegar à seguinte relação matemática:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

Equação 4

Intercalando as equações 3 e 4, temos:

$$\epsilon = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Equação 5 – rendimento do Ciclo de Carnot

Considerando que as temperaturas T_1 e T_2 são expressas na escala absoluta (Kelvin), uma máquina ideal operando em ciclos apenas alcançaria rendimento de 100% se a sua temperatura da fonte fria fosse equivalente ao zero absoluto, o que é teoricamente impossível. Assim, a conclusão do Ciclo de Carnot é que, por mais que uma máquina térmica operando em ciclos se aproxime do modelo ideal, ela jamais conseguirá obter um rendimento de 100%. Sobre essa conclusão, aliada à aplicação do mesmo raciocínio no funcionamento de refrigeradores, Alaor Chaves diz:

Carnot concluiu que esses fatos decorrem de um princípio geral:

Não há máquina térmica perfeita, ou seja, que transforme em trabalho todo o calor retirado de uma fonte; nem refrigerador perfeito, ou seja, que transporte calor de uma fonte fria para um reservatório quente, sem também receber algum trabalho externo. (CHAVES, 2001, vol. 4, p. 47)

Da conclusão supra temos, portanto, o embrião daquilo que conhecemos como a Segunda Lei da Termodinâmica:

Este é o conteúdo da segunda lei da termodinâmica. Essa lei empírica sintetiza o resultado negativo de todas as tentativas para se violá-la. Sua violação seria potencialmente de imenso valor para o homem. Portanto, a aceitação da inexorabilidade de princípio afirmado por Carnot foi precedida das mais diversas tentativas de contrariá-lo, envolvendo um variado elenco de sistemas físicos. Exaurido o esforço que consumiu cerca de três décadas (no fim do qual a experiência triunfou sobre a esperança!), verificou-se também que a segunda lei pode ser formulada de diversas formas aparentemente distintas mas na verdade equivalentes. (CHAVES, 2001, vol. 4, p. 47)

A formulação da Segunda Lei da Termodinâmica na década de 1850 possuiu, nos enunciados de Clausius e Lorde Kelvin, duas importantes formalizações enquanto princípio físico. Vejamos, pois, tais enunciados a seguir:

- *Enunciado de Clausius (1850): É impossível realizar um processo cujo único efeito seja transferir calor de um corpo mais frio para um corpo mais quente (Nussenzveig, 2002, p. 207);*

- *Enunciado de Kelvin (1851): É impossível realizar um processo cujo único efeito seja remover calor de um reservatório térmico e produzir uma quantidade equivalente de trabalho (Nussenzveig, 2002, p. 207).*

Como seria demonstrado posteriormente por outros físicos, os dois enunciados são equivalentes, ou seja, tratam de fato da Segunda Lei da Termodinâmica. O que resta saber é, portanto, visto que os sistemas físicos são limitados em termos de aproveitamento energético, o que ocorre com essa energia não aproveitável que seria, portanto, a principal marca da irreversibilidade termodinâmica.

Desta forma, no contexto em que os enunciados de Clausius e Lorde Kelvin foram cunhados, Clausius trouxe à tona, em 1965, o conceito de *entropia* para dar significado conceitual e teórico à diferença necessária entre as quantidades de energia anterior e posterior em um dado processo térmico – diferença essa que é justamente o que garante a irreversibilidade. Essa interpretação atribui ao conceito de entropia a mensuração do quão uma transformação é irreversível, ou seja, do tamanho da diferença entre a energia total do sistema no início e no fim dos processos térmicos. Considerando que tal perda necessária de energia representa um ganho para o universo, esse o aumento da “energia de fundo do universo” corresponderia, para Clausius, justamente ao aumento da entropia, que a partir de então torna-se um princípio físico. Assim, o princípio do aumento da entropia é dado pela seguinte equação, denominada de *desigualdade de Clausius*:

$$\Delta S \geq 0$$

Equação 6 – a representação matemática do constante aumento da entropia

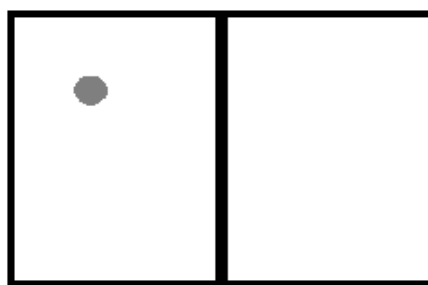
Na equação anterior, ΔS representa a variação da entropia do universo.

1.4.4- A mecânica estatística e a reinterpretação do conceito de entropia.

O estudo e a compreensão dos processos termodinâmicos se dão fundamentalmente pela observação do comportamento de gases. Os gases, por sua vez, são conjunções de uma infinidade de partículas livres. Assim, uma compreensão detalhada do comportamento dos gases envolve a consideração do fato de que eles são repletos de partículas, cada qual com o seu movimento. No entanto, o número de partículas de um sistema geralmente é muito grande (sendo geralmente superior a 10^{20}) o que torna impossível a mensuração exata da posição e da velocidade de cada uma dessas partículas. Desta forma, esse estudo que considera a composição particular de sistemas deve se dar à partir de aproximações probabilísticas da posição e determinação do valor médio da velocidade das partículas. É justamente nessa seara que surge o conceito de mecânica estatística, que irá fornecer uma interpretação completamente nova para o comportamento de sistemas e o conceito de entropia.

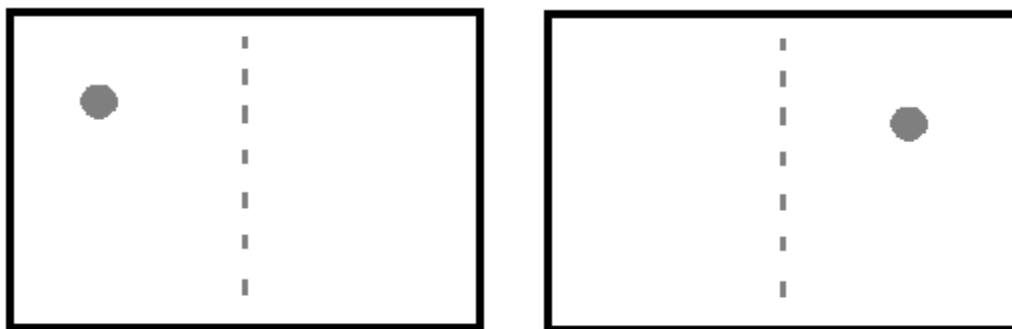
Comecemos a nossa análise da mecânica estatística à partir de um exemplo simples de uma caixa dividida em duas partes iguais e uma partícula:

Figura 5 – uma partícula em uma caixa dividida em dois lados iguais



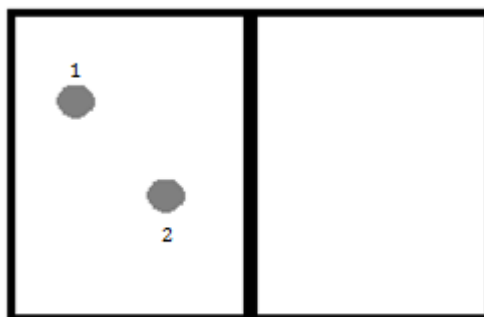
Se a barreira que divide os dois lados da caixa for removida, a partícula poderá ser encontrada do lado esquerdo ou do lado direito da caixa, numa probabilidade de 50% para cada situação, o que gera *duas possibilidades* (representadas abaixo).

Figura 6 – uma partícula em duas situações possíveis após a remoção do anteparo: do lado direito e do lado esquerdo da caixa



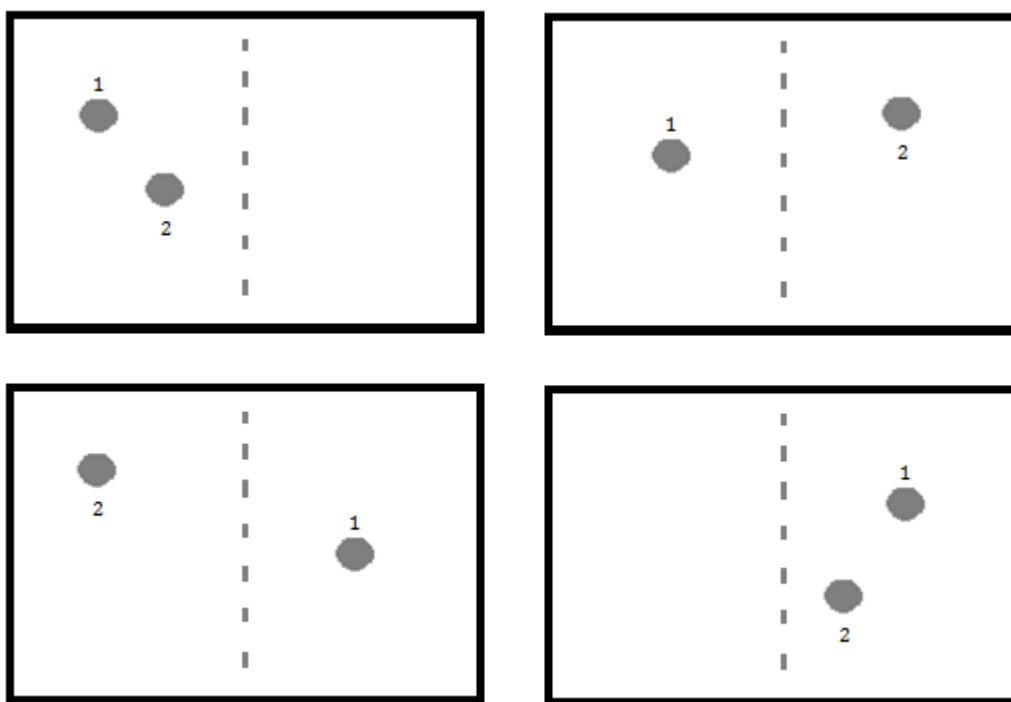
Partiremos agora para uma situação em que temos uma caixa com duas partículas. Da mesma forma que no caso supra, as partículas ficarão inicialmente confinadas do lado esquerdo da caixa:

Figura 7 – duas partículas em uma caixa dividida em dois lados iguais



Se, de forma análoga ao caso anterior, a barreira que divide os lados da caixa for rompida, cada uma das partículas poderá ser encontrada em cada um dos dois lados da caixa, gerando assim *4 possibilidades*:

Figura 8 – as possíveis distribuições de duas partículas em uma caixa dividida em dois lados iguais



Na situação acima, a probabilidade de as partículas se encontrarem concentradas do lado esquerdo corresponde a 25% (1/4), que é o mesmo valor para a probabilidade de elas se encontrarem do lado direito. Os outros 50% correspondem às duas situações em que as partículas se encontram divididas entre os dois lados da caixa.

Os casos em que as partículas se encontram concentradas são chamados *estados ordenados*, e os casos em que elas se encontram distribuídas se chamam *estados desordenados*. Se compararmos o caso de uma partícula com o caso de duas partículas, veremos que há uma redução no percentual de ocorrência dos casos ordenados quando ampliamos o número de partículas do sistema de uma para duas.

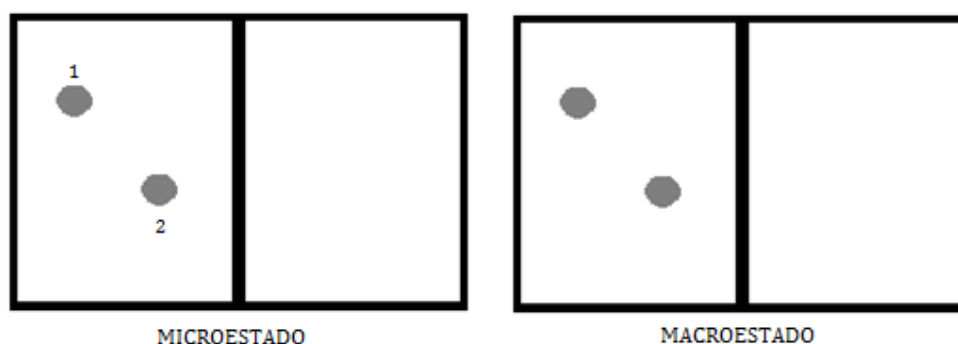
Cada vez que aumentamos o número de partículas, a análise fica mais complexa pois o número de possibilidades aumenta exponencialmente. Se considerarmos a situação de uma caixa dividida em dois lados, o número situações possíveis para a distribuição de uma quantidade N de partículas que são distinguíveis uma da outra é dado por:

$$\mu = 2^N$$

Equação 7

Denominamos *microestado* cada situação de distribuição que considera cada partícula como única. Sendo assim, a equação 7 nos fornece o número total de microestados de um sistema. Já a distribuição que considera apenas a configuração sem se atentar para a diferenciação entre as partículas é denominada de *macroestado*. Ilustrando a diferença, temos:

Figura 9 – distinção superficial imagética entre microestado e macroestado



A distinção entre microestado e macroestado²² fica mais evidente na medida em que aumentamos o número de partículas do sistema. Vejamos agora o que acontece quando aumentamos para 4 partículas:

- *Sistema com quatro partículas:*

Como foi dito anteriormente, a análise fica cada vez mais complexa quando ampliamos o número de partículas. Assim, como o número de microestados para um sistema de quatro partículas é igual a 16, utilizaremos uma tabela para que a nossa análise seja facilitada. Na tabela, “Ne” representa o número de partículas situadas do lado esquerdo do sistema, enquanto “Nd” faz referência ao número de partículas situadas do lado direito do mesmo.

²² Retornaremos ao problema da distinção entre microestado e macroestado no terceiro e último capítulo, quando será feito um uso dessa distinção mais aplicado ao problema específico da causação.

Tabela 3 – estados possíveis de um sistema de 4 partículas alocadas em uma caixa com dois lados iguais

Molécula							
1	2	3	4	Ne	Nd	Número de microestados	Probabilidade
E	E	E	E	4	0	1	1/16
D	E	E	E	3	1	4	1/4
E	D	E	E				
E	E	D	E				
E	E	E	D				
D	D	E	E	2	2	6	3/8
D	E	D	E				
D	E	E	D				
E	D	D	E				
E	D	E	D				
E	E	D	D				
D	D	D	E	1	3	4	1/4
D	D	E	D				
D	E	D	D				
E	D	D	D				
D	D	D	D	0	4	1	1/16
Total						16	1

A tabela anterior deixa claro que o número de macroestados (dependentes apenas da distribuição numérica de partículas) é 5, enquanto o número total de estados (dado pela soma de todos os microestados) é 16. É fácil perceber que, se comparado com o sistema de duas partículas, o sistema com quatro possui uma redução na probabilidade do macroestado mais ordenado²³ (a sua probabilidade corresponde a 1/8 do total). O macroestado mais provável (a sua probabilidade corresponde a 3/8 do total) é aquele em que as partículas estão igualmente distribuídas dos dois lados, sendo o mais desordenado²⁴.

Para tentar associar a entropia à probabilidade, o físico Ludwig Boltzmann passou a compreender tal conceito como sendo equivalente ao nível de desordem de um sistema, e desenvolveu uma equação para calcular a entropia de um certo estado do sistema, que é dada por:

$$S = k \ln w$$

Equação 7

²³ O macroestado mais ordenado é aquele em que as partículas estariam todas concentradas em apenas uma metade da caixa.

²⁴ O macroestado mais desordenado é aquele em que as partículas se dividem entre as duas metades da caixa.

A letra w seria equivalente ao número de microestados de um dado macroestado, enquanto k representa a *constante de Boltzmann* ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K).

Se considerarmos um sistema com um número muito grande de partículas, a probabilidade de ocorrência de um macroestado desordenado será, portanto, gigantesca. Assim, o macroestado mais provável será aquele com maior valor de entropia, ou seja, o que é mais desordenado. Eis, portanto, uma nova interpretação para o conceito de entropia e para o problema da irreversibilidade dos processos naturais.

1.5 – Considerações finais

Um dos problemas fundamentais citados por Russell em sua crítica acerca da tentativa de se unir Física e causalidade foi o fato de a física ser toda simétrica, enquanto relações de causalidade são assimétricas em termos temporais.

Quando, no entanto, abrimos a questão e investigamos com uma maior profundidade o problema, podemos perceber que por mais que as teorias físicas possuam majoritariamente uma forte simetria no aspecto temporal, existe um ponto que não pode ser ignorado que é o fato de que há um monismo nos fenômenos naturais. Esse monismo, ao que podemos perceber nas palavras de Richard Feynman, deveria estar associado ao princípio da entropia.

Assim que a questão da entropia entrou em jogo, foi necessário que fizéssemos um balanço acerca do desenvolvimento de tal conceito dentro da Física. Assim, construímos a partir dos conceitos primitivos de calor e temperatura toda a base teórica para a elaboração do princípio da entropia em sua base termodinâmica. Feito isso, trouxemos à tona a forma como a mecânica estatística de Boltzmann reelabora o conceito de entropia como sendo a medida da desordem de um sistema. E, como podemos perceber, a probabilidade de um sistema se desordenar é muito maior do que a de ele se manter ordenado.

Por fim concluímos o nosso primeiro capítulo afirmando que por mais que a maior parte das leis fundamentais da Física não faça distinção entre passado e futuro, o fato de os fenômenos serem irreversíveis na realidade que é clareado pelo princípio da

entropia denota que, nessa tênue linha que separa a Física do mundo real, há ao menos uma assimetria relevante.

No próximo capítulo faremos um balanço das reflexões de Boltzmann acerca da segunda lei da termodinâmica e da mecânica estatística, bem como da forma como essas ideias foram recebidas por Hans Reichenbach no processo de formulação da sua teoria causal. Trataremos também de outros pensadores que buscaram, como Reichenbach, a origem da assimetria das relações causais nos fenômenos naturais.

Capítulo 2

A teoria causal de Hans Reichenbach

O que experimentamos em um momento, desliza, no momento seguinte, para o passado. Ali permanece para sempre, irrecuperável, isento de mais mudanças, inacessível a um maior controle por qualquer coisa que o futuro nos traga - e ainda consagrado em nossa memória como algo que uma vez preencheu nossa experiência como um presente imediato. Isso nunca vai voltar? Por que não pode estar conosco uma segunda vez?²⁵

2.1 – Observações preliminares

O capítulo anterior da dissertação se prestou a, a partir do artigo *On the notion of cause* de Bertrand Russell – em que o autor retira a dependência das Leis da Física em relação à causação –, mostrar que embora tais leis sejam simétricas, o modo como os fenômenos ocorrem indica que há, na natureza, um caráter assimétrico. Na construção do capítulo fizemos uma breve passagem por importantes princípios físicos para mostrar as simetrias espacial e temporal dos mesmos. Na sequência, abordamos as Leis da Termodinâmica e de que forma o conceito de Entropia suscita uma relação entre as assimetrias do mundo físico e as Leis da Física. O conceito de Entropia foi abordado em duas perspectivas fundamentais: uma associada à Segunda Lei da Termodinâmica e outra, referente à Mecânica Estatística.

Neste capítulo da dissertação, abordarei inicialmente a interpretação dada à Mecânica Estatística e ao conceito de Entropia por Ludwig Boltzmann. Tal interpretação, como veremos na construção do capítulo, será fundamental para que o filósofo Hans Reichenbach construa a sua *teoria causal do tempo*. Uma das partes

²⁵ Reichenbach, *The Direction of time*, p. 1: “What we experience in one moment, glides, in the next moment, into the past. There it remains forever, irretrievable, exempt from further change, inaccessible to further control by anything that the future will bring us – and yet enshrined in our memory as something that once filled our experience as an immediate present. Will it never come back? Why can it not be with us a second time?” Tradução nossa.

fundamentais dessa teoria é justamente um dos pontos fortes de interesse da presente dissertação: Reichenbach irá demonstrar que a assimetria causal é redutível à assimetria da Entropia.

2.2 – Ludwig Boltzmann, Entropia e Mecânica Estatística

Ludwig Boltzmann, um importante físico da segunda metade do século XIX e início do século XX, desenvolveu a mecânica estatística que consiste, como foi tratado no capítulo anterior, no estudo de situações macroscópicas com base em uma estatística média acerca das partículas constituintes de tais situações (como, por exemplo, estudar o comportamento dos gases com base em uma aproximação estatística média do movimento de suas partículas).

Na época em que Boltzmann começou a desenvolver os seus trabalhos haviam fundamentalmente a Teoria Cinética dos Gases de Maxwell, que compreendia o movimento das partículas que compõem um gás ideal²⁶ a partir de uma aproximação com a mecânica clássica, e as primeiras elaborações do conceito de Entropia. Boltzmann irá empreender sobre a teoria de Maxwell um olhar transformador que trouxe, para a Teoria Cinética, uma abordagem estatística. Sobre isso, Cássio Laranjeiras afirma que

o contato de Boltzmann com os trabalhos de Maxwell marca uma nova etapa no desenvolvimento do seu programa de pesquisa, que será marcada basicamente pelo uso de dois procedimentos:

1. Utilização da “função de distribuição” em substituição a um conjunto completo de variáveis moleculares;
2. Substituição de argumentos de natureza cinética, ligados à descrição temporal do movimento irregular das partículas, por argumentos de natureza probabilística, que vão estabelecer as relações entre a evolução do sistema no tempo e os limites do movimento das partículas no espaço. (LARANJEIRAS, 2006, p. 297)

É justamente essa introdução da probabilidade na Teoria Cinética que irá marcar o surgimento da Mecânica Estatística e a reinterpretação do próprio conceito de Entropia.

A transformação da Teoria Cinética em algo de ordem probabilística terá como consequência a mudança do conceito de Entropia de algo estabelecido inicialmente com

²⁶ O Gás Ideal é caracterizado por ter, a partir de um alto valor de temperatura e um baixo de pressão, interações não-mecânicas desprezíveis.

um forte significado teórico para uma coisa completamente dependente de uma base estatística e experimental. As implicações desse tipo de mudança para a Física e a Filosofia da Ciência seriam muito importantes para as reflexões acerca das ciências no século XX.

Em uma conferência realizada no Congresso Científico de ST. Louis denominada *Sobre a mecânica estatística*, Boltzmann discute a distância existente em seu tempo entre a física teórica e a experimental, exemplificando justamente a partir do próprio congresso para o qual palestrava. Ele diz:

A brutal separação que dividiu esta ciência em dois campos dificilmente terá sido tão agudamente definida como na organização das palestras a serem apresentadas nesse congresso científico. (...) Estou me referindo à divisão entre física teórica e física experimental. Como representante da física teórica, eu fui alocado na seção A, correspondente às ciências normativas; a física experimental aparece muito mais adiante na seção C para a ciência física. Entre as duas encontram-se a história, a linguística, a literatura, a teoria da arte e a teoria da religião. O físico teórico deve, através de todas elas, estender a mão ao físico experimental. (BOLTZMANN, 2004, p. 163)

A diferença entre elas, assim como a hierarquia entre ambas que colocava a física teórica como superior à experimental, seria proveniente de uma concepção de ciência ultrapassada. Boltzmann diz:

Antes de tudo, nos seja permitido consultar um investigador de um período no qual a ciência da natureza ainda não havia se distanciado muito do seu início: Immanuel Kant. (...) Ele considerava que a ciência natural muito dificilmente poderia ser tomada como uma ciência completa, caso ela não estivesse construída sobre fundamentos matemáticos. Assim, ele não incluía a química entre as ciências de sua época, já que ela apenas se reduziria a fundamentos empíricos, carecendo de um princípio regulador unitário.

Considerada a partir desse ponto de vista, a física teórica estaria numa posição favorável em relação à física experimental, ocupando, inclusive, uma posição mais elevada. À física experimental caberia apenas juntar os tijolos, enquanto à física teórica caberia construir o edifício com eles.

Essa hierarquia é, contudo, abandonada caso nós atentemos não só para as realizações ocorridas nos últimos decênios, mas também para os progressos que podem ser esperados no futuro próximo. (BOLTZMANN, 2004, p. 164)

O abandono da supracitada hierarquia seria, segundo Boltzmann, fruto dos avanços da física experimental que se desenvolvia em uma velocidade estonteante na sua época, enquanto “o conflito de teorias é infinitamente mais demorado, tornando possível pensar que certas controvérsias são tão antigas quanto a própria ciência, sobrevivendo tanto tempo quanto esta última” (BOLTZMANN, 2004, p. 165). Em seu artigo *Tradição matemática versus tradição experimental no desenvolvimento das ciências físicas*, o filósofo da ciência Thomas Kuhn discute a origem histórica da hierarquia levantada por Boltzmann, evidenciando que a importância da tradição experimental

baconiana para as ciências físicas não foi imediata como alguns pensam. Por volta do século XIX é que, segundo Kuhn, essa tradição passa a ter um papel relevante no desenvolvimento da Física²⁷.

Após falar longamente acerca da hierarquia existente em seu tempo entre física teórica e física experimental, bem como de questões concernentes à relação entre filosofia e ciência, Boltzmann irá tratar especificamente da questão da irreversibilidade dos fenômenos e da simetria das Leis da Física. Ele diz:

As equações fundamentais da mecânica não mudam em nada a sua forma quando o sinal da grandeza tempo é simplesmente invertido. Assim, todos os processos puramente mecânicos podem desenrolar-se tanto em um sentido quanto no outro, isto é, caso o tempo cresça ou diminua. No entanto, nós reparamos que, na vida diária, o futuro e o passado não correspondem tão completamente como as direções direita e esquerda, mas, ao contrário, ambos são claramente distintos um do outro. (BOLTZMANN, 2004, p. 177)

Ao focar na relação entre a Física e o direcionamento do tempo, Boltzmann afirma que a mecânica clássica não estabelece diferenciação entre o passado e o futuro. Todos os seus princípios são temporalmente simétricos. No entanto, ao analisar a mesma situação para a Segunda Lei da Termodinâmica, ele diz:

Isto torna-se mais preciso no segundo princípio mecânico do calor. Este afirma que, caso um determinado sistema de corpos seja abandonado por si mesmo, não sendo influenciado por outros corpos, sempre será possível indicar o sentido em que ocorre uma mudança de estado. É sempre possível indicar uma certa função do estado da totalidade dos corpos, a entropia, a qual é estabelecida de tal modo que só pode acontecer qualquer mudança de estado caso ocorra um aumento dessa função; esta só pode crescer por meio de [um respectivo] crescimento do tempo. (BOLTZMANN, 2004, p. 177)

Ao ser compreendida de um ponto de vista da Mecânica Estatística²⁸, a entropia representa um tipo de descrição física da natureza baseada na probabilidade. No caso da específico da entropia, a direção do tempo torna-se relevante. A entropia pode, portanto, ser tida como uma espécie de feição assimétrica da realidade. Sobre isso, Feynman diz:

²⁷ É possível verificar isso na seguinte citação do livro *A tensão essencial* de Thomas Kuhn: “Quanto a isso, o exemplo da Académie des Sciences francesa é instrutivo (...). A seção de *physique expérimentale* só foi introduzida em 1785, quando foi incluída na divisão de Matemática (juntamente com Geometria, Astronomia e Mecânica) em vez de reservada às *sciences physiques* mais manipulativas (Anatomia, Química, e Metalurgia, Botânica e Agricultura, História Natural e Mineralogia). Após 1815, quando o nome da nova seção foi alterado para *physique générale*, por algum tempo, muitos poucos de seus membros eram experimentalistas. Tomando o século XVIII como um todo, a contribuição dos acadêmicos para as ciências físicas baconianas foi inferior à dos médicos, farmacêuticos, industriais, fabricantes de instrumentos, conferencistas itinerantes e outros homens que tiravam seu sustento de atividades não associadas à ciência. Mais uma vez, a exceção é a Inglaterra, onde a Royal Society era vastamente povoada por esses amadores, e não por homens que tivessem feito carreira primeiro nas ciências.” P. 75, 76.

²⁸ Boltzmann irá, na mesma conferência, atribuir a Gibbs o marco inicial da Mecânica Estatística, embora as suas contribuições para o desenvolvimento da mesma tenham sido mais efetivas.

Quando as coisas tem a mesma temperatura, não há energia disponível para fazer nada. O princípio da irreversibilidade é o seguinte: se coisas com temperaturas diferentes são deixadas por conta própria, as temperaturas se aproximam e a disponibilidade de energia decresce com o tempo. (...) Isso é outro modo de se referir à lei da entropia²⁹, que diz que a entropia sempre aumenta. As palavras não importam; o importante é que a disponibilidade de energia sempre diminui. É uma característica do mundo, decorrente dos movimentos moleculares irregulares. Coisas com temperatura diferentes, deixadas por conta própria, tendem à mesma temperatura. Se você tem duas coisas com a mesma temperatura, como a água sobre um fogão apagado, a água não vai congelar e o fogão esquentar. Mas se você tem gelo sobre um fogão aceso, a coisa vai para o outro lado. Essa unidirecionalidade corresponde sempre a uma redução da energia disponível.³⁰

Há, portanto o recurso ao princípio da entropia para que a explicação sobre a irreversibilidade dos fenômenos ocorra. Essa irreversibilidade depende, entretanto, de uma hipótese fundamental: “a hipótese de que no passado o Universo era mais ordenado, no sentido técnico, do que é hoje. Essa hipótese é necessária para conferir sentido e tornar compreensível a irreversibilidade.”³¹ No próximo capítulo trataremos um pouco melhor deste ponto.

2.3 – A teoria causal reducionista de Hans Reichenbach

2.3.1 – A concepção de Filosofia Científica

A empreitada filosófica de Hans Reichenbach é largamente influenciada por uma concepção de mundo pautada pela ciência. De acordo com esse tipo de visão, a Filosofia seria incapaz de resolver sozinha algumas questões fundamentais colocadas pela razão humana desde os primórdios da filosofia. Ludwig Boltzmann fala a respeito dessa questão na conferência tratada anteriormente, dizendo o seguinte acerca dessas questões:

Dizia-se, antigamente, que o investigador da natureza não deveria ocupar-se com elas, mas deixa-las para a filosofia. (...)

²⁹ No texto original a expressão é: “This is another name for what is called entropy law...” (Feynman, 1967, p. 121). Há uma enorme diferença entre referir-se à entropia como uma lei e dizer que o princípio da irreversibilidade é “chamado de lei da entropia”. Considerando que em outros momentos do seu texto Feynman não considera a entropia como uma Lei da Física mas como uma característica da natureza, iremos trata-la desta forma.

³⁰ Feynman, *Sobre as Leis da Física*, p. 127.

³¹ *Ibid.*, p. 122.

Espero que nenhum dos filósofos presentes me levará a mal ou tomará como uma reprovação quando eu afirmar francamente que a entrega dessas questões à filosofia talvez tenha dado maus resultados também. A filosofia foi incrivelmente ineficaz no esclarecimento dessas questões e ela pôde tão pouco, sozinha e contando somente com o seu próprio ponto de vista, tal como a capacidade da ciência natural, quando isolada. Se um progresso real é possível, ele então só pode ocorrer a partir da colaboração entre elas. (BOLTZMANN, 2004, p. 170)

Dentre essas questões fundamentais citadas por Boltzmann está a explicação acerca da causalidade e das relações causais (que será largamente abordada por Reichenbach tendo, como uma de suas principais influências, o próprio trabalho de Boltzmann).

No contexto citado anteriormente, em que a filosofia é observada com desconfiança por parte daqueles que veem na ciência uma capacidade única de resolver problemas de ordem prática e teórica, surge a defesa daquilo que é designado por Hans Reichenbach de Filosofia Científica.

Segundo Reichenbach, a Filosofia Científica seria um tipo de filosofia pautada na utilização de resultados obtidos a partir das investigações dos cientistas para tentar responder às principais questões filosóficas. Este modelo de investigação filosófica visa a superação definitiva do impasse entre os múltiplos sistemas filosóficos existentes com a utilização de um solo firme (obtido pela ciência através do artifício empírico que é inerente) para tal. Em seu livro *La Filosofía Científica*, Hans Reichenbach discute a importância de tal postura investigativa quando contrastada com os antigos sistemas filosóficos. Ele diz:

A história da ciência do século XIX fornece ao filósofo enormes perspectivas. A abundância de descobertas técnicas se deu paralelamente a uma grande ascensão da análise lógica. Foi sobre as bases da nova ciência que se desenvolveu a nova filosofia. Esta nova filosofia começou como um subproduto da investigação científica. O matemático, o físico e o biólogo (...) se encontravam na vantajosa situação de buscarem as respostas de tais questões mais gerais livres das exigências dos sistemas filosóficos.³²

Em suas palavras, Reichenbach deixa bem claro que a ciência moderna é uma ferramenta imprescindível na busca pela resposta de questões filosóficas justamente por não precisar prestar contas a nenhum conjunto de premissas e conclusões metafísicas (marca fundamental de todos os antigos sistemas filosóficos). Essa liberdade em relação aos antigos sistemas aliada a uma dependência da lógica e da ciência deveriam ser, pois,

³² Reichenbach, *La filosofía científica*, p. 128: “La historia de la ciencia del siglo XIX brinda al filósofo perspectivas de enorme alcance. La abundancia de descubrimientos técnicos se halla igualada por una gran riqueza de análisis lógico. Fue sobre las bases de la nueva ciencia donde se erigió la nueva filosofía. Esta nueva filosofía principió como un subproducto de la investigación científica. El matemático, el físico o el biólogo (...) se encontraban en la ventajosa situación de que podían entregarse a la búsqueda de estas respuestas filosóficas libres del lastre de la preocupación de un sistema filosófico.” Tradução nossa.

as marcas de uma produção filosófica coerente com o seu tempo. Assim, é uma característica da própria filosofia de Hans Reichenbach a tentativa de resolver problemas filosóficos tendo como base teorias científicas consolidadas. A principal delas é a de tentar explicar a direcionalidade do tempo à partir das relações causais sendo as últimas, por sua vez, redutíveis à Entropia. Especificamente no caso da presente dissertação o maior interesse gira em torno dos seus esforços em tentar reduzir a causalidade à Física (especificamente à Entropia). Isso faz parte de um projeto geral de Reichenbach que inverte o problema de Russell pois, ao invés de fundar a Física na causalidade, realiza o processo oposto.

2.3.2 – A redução da assimetria da causação à assimetria da entropia

A proposta geral de Hans Reichenbach em seu livro *The Direction of time* é desenvolver uma teoria causal do tempo, mostrando que a seta do tempo é redutível à assimetria da causação. Ele diz:

Como podemos encontrar uma explicação adequada sobre o tempo? Está claro que somente podemos buscá-la a partir de um estudo das relações de causalidade. (...) A finalidade da presente investigação será a de mostrar que se trata de algo a mais do que uma mera coincidência, e que a ordem do tempo é redutível à ordem causal.³³

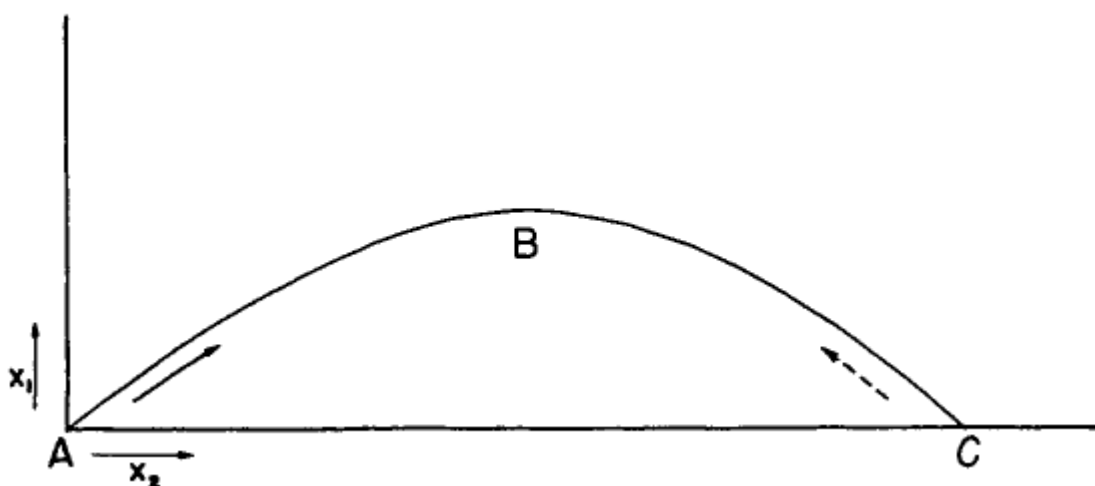
Para Reichenbach, o argumento decisivo em favor de sua proposição é o fato de que as transformações de Lorentz permitem a inversão da ordem temporal somente em casos em que não há uma cadeia causal (REICHENBACH, 1956, p. 25). Reichenbach irá seguir uma série de passos para demonstrar a sua tese. Desses passos, apenas aqueles que servirão para mostrar a redutibilidade da causação em relação à entropia é que nos serão úteis.

³³ Reichenbach, *The direction of time*, p. 24: “How can we find a suitable explication fo time? It’s clear that it can be sought only by a study of the relationship of causality. (...) It will be the aim of the present investigation th show that this is more than a mere coincidence, that time order is reducible to causal order.” Tradução nossa.

I – Processos reversíveis e ordem temporal.

O primeiro passo de Reichenbach será analisar os processos reversíveis. Tais processos são aqueles geralmente descritos pelas leis da mecânica e que, conforme pudemos ver no primeiro capítulo, correspondem a fenômenos simétricos. Assim, vamos tratar do exemplo tratado pelo próprio Reichenbach: imaginemos uma bola que sofre um lançamento oblíquo arremessado da posição “A” até a posição “C” passando pela posição intermediária “B”, como na imagem abaixo.

Figura 10 – Diagrama de posições da bola no lançamento oblíquo



Fonte: Hans Reichenbach, *The Direction of time*, p. 31.

A seta contínua indica o movimento em sua direção positiva: de A para C passando por B, já a seta tracejada indica o movimento no tempo invertido. As retas x_1 e x_2 indicam as coordenadas da bola. O processo tracejado é uma descrição inversa de uma situação ocorrida e, dado que este processo é reversível, a sua ocorrência é plenamente plausível.

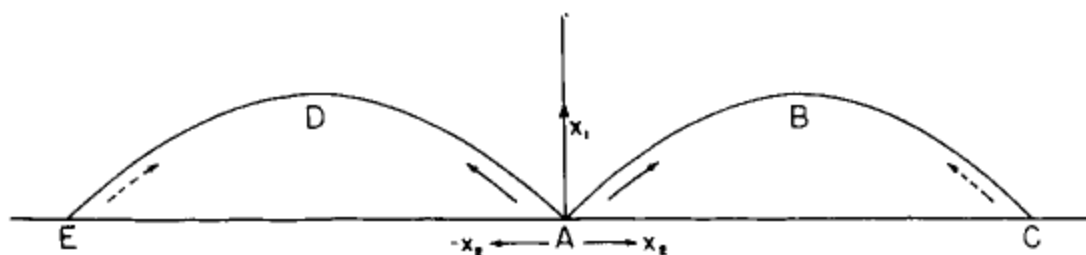
Podemos ser levados a pensar que o que fora exposto anteriormente nos remeteria a uma causalidade simétrica, devido ao processo ser reversível. No entanto, Reichenbach afirma:

Nas discussões corriqueiras sobre os problemas do tempo, é normal que se diga que somente os processos irreversíveis sustentam uma assimetria causal, enquanto os processos reversíveis conduzem a uma relação causal simétrica.

Esta concepção é incorreta. Os processos irreversíveis são os únicos que podem definir uma direção do tempo; mas os reversíveis definem ao menos a ordem do tempo e, portanto, proporcionam uma relação assimétrica de causalidade. (...) A formulação correta é a de que unicamente os processos irreversíveis definem uma causalidade *com um só sentido*.³⁴

Para explicar o que foi exposto acima, Reichenbach irá recorrer ao mesmo exemplo das coordenadas da bola, acrescentando outra bola com movimento idêntico e simultâneo, mas com a coordenada x_2 invertida. Nesse caso, uma bola possui 3 pontos considerados em seu caminho (A, B e C) e a outra também possui 3 pontos relevantes (A, D e E). As linhas contínuas indicam a direção positiva do tempo, enquanto as linhas tracejadas indicam a direção negativa.

Figura 11 – Diagrama de posições das duas bolas no lançamento oblíquo



Fonte: Hans Reichenbach, *The Direction of time*, p. 33.

No movimento da primeira bola considerada (Ball 1), há uma ordem entre as posições A, B e C, de forma que a posição B é intermediária. O mesmo ocorre em relação à segunda bola (Ball 2) que possui D como posição intermediária em sua ordem de posições. Se considerarmos a direção positiva do tempo, as duas bolas sairão de A e irão, respectivamente, para C e E. Já na direção negativa do tempo, uma bola sairá de C e outra de E e elas irão se encontrar em A.

A situação proposta acima, apresentada por Reichenbach, revela um fator importante: o fato de haver uma concomitância espaço-temporal (à partir de um evento específico) entre o movimento das duas bolas estabelece uma relação entre as direções

³⁴ Ibid., p. 32: "In the usual discussion of problems of time it has become customary to argue that only irreversible processes supply an asymmetrical relation of causality, while reversible processes allegedly lead to a symmetrical causal relation. This conception is incorrect. Irreversible processes alone can define a Direction of time; but reversible processes define at least an order of time, and thereby supply an asymmetrical relation of causality. The correct formulation is that only irreversible processes define a *unidirectional causality*." Tradução nossa. Grifo do autor.

temporais de ambas. Para entender essa relação, deveremos considerar o seguinte: No momento em que Ball 1 estiver em A, Ball 2 necessariamente estará em A, dado que o evento gerador do movimento de ambas a partir de A é simultâneo. Da mesma forma, podemos analisar o movimento no sentido temporal oposto, em que C e E seriam os eventos geradores e A o evento final para ambas. Portanto, por mais que não haja uma direção do tempo que seja a correta para os movimentos de Ball 1 e Ball 2, a justaposição espaço-temporal (em A) da cadeia de eventos de ambos os movimentos torna a direção temporal do movimento de Ball 1 atrelada à direção temporal do movimento de Ball 2. A isso, Hans Reichenbach dará o nome de “comparabilidade local da ordem temporal”³⁵.

II – Conexão entre processos reversíveis e irreversíveis e Rede Causal

Reichenbach irá, na sequência, analisar de que modo os processos irreversíveis são “conectáveis” aos reversíveis. Imaginemos, portanto, o seguinte: o movimento de Ball 2 é substituído por um fenômeno irreversível. Caso isso aconteça, por mais que o movimento de Ball 1 seja reversível, aquilo que antes possuía duas circunstâncias possíveis (nas duas direções do tempo), possuirá apenas uma e teremos uma circunstância em que é determinado o sentido do tempo. Sobre isso, Reichenbach diz:

Esta consideração pode ser resumida da seguinte forma: nem as leis da mecânica, nem tampouco os observáveis mecânicos nos proporcionam uma direção do tempo, a menos que tal direção tenha sido definida previamente com referência a algum processo irreversível. Por exemplo, se a velocidade de um corpo é considerada como observável, sua direção deve se determinar a partir de algum processo com direção temporal dada; como o tempo da experiência psicológica, que deriva dos processos irreversíveis do organismo humano.³⁶

Desta forma, devido à ordem linear de eventos, e à comparabilidade da ordem temporal de distintos processos, é possível determinar a direção temporal de um processo reversível usando, como base, outro irreversível.

³⁵ Ibid., *The direction of time*, p. 35: “local comparability of time order”. Tradução nossa.

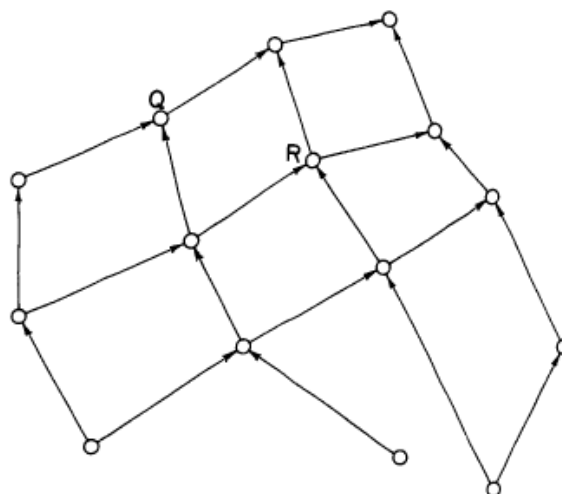
³⁶ Ibid., *The direction of time*, p. 35: “This consideration can be summarized as follows. Neither the laws of mechanics nor mechanical observables give us a direction of time, unless such a Direction has been defined previously by reference to some irreversible process. For instance, if the velocity of a body is regarded as an observable, its Direction must be ascertained by comparison with some temporally directed process, such as the time of psychological experience, which is derived from the irreversible processes of the human organism.” Tradução nossa.

Após tratar da ideia de comparabilidade local da ordem temporal, Reichenbach irá definir o conceito de *rede causal* que nada mais é do que um conjunto de linhas que expressam ordens lineares associadas a fenômenos e que, por sua vez, possuem pontos de intercessão (como o ponto A no caso das bolas exemplificado anteriormente). A determinação de uma direção para qualquer uma das linhas terá, como consequência, a determinação da direção para todas as demais. Assim, a rede possui uma ordem linear. Outra característica da rede causal é o fato de ser repleta de cadeias causais abertas, como demonstra Reichenbach no seguinte trecho:

Assim, formulamos uma propriedade muito importante da rede causal, que deve se considerar como resultado de muitas experiências. Suponhamos que tomamos uma direção para uma linha; como sabemos, assim se estabelece uma direção para todas as linhas. Agora podemos viajar pelas linhas, partindo de um ponto e seguindo sempre o sentido das setas. Se várias setas partem de um ponto, selecionamos uma a bel prazer. Uma combinação das linhas percorridas desta maneira pode ser denominada *cadeia causal*. Viajando pelas cadeias causais, descobrimos agora que nunca retornamos ao ponto de partida; ou, dito de outra forma, que *não existem cadeias causais fechadas*.³⁷

A supracitada abertura da rede, como foi visto anteriormente, é uma característica da ordem e não da direção do tempo.

Figura 12 – Um exemplo de rede causal fechada, em que não há uma ordem temporal para os eventos Q e R.



Fonte: Hans Reichenbach, *The Direction of time*, p. 37.

³⁷ Ibid., p. 36: “Now, we come to formulate a very importante property of the causal net, which must be regarded as the result of many experiences. Let us assume that we have selected a Direction for one line; as we know, a Direction is then assigned to all lines. We can now travel along the lines, starting at one point and Always following the Direction of the arrows. If several arrows depart from one point, we select one as we like. A combination of lines traveled through in this way may be called a *causal chain*. Traveling along causal chains we now make the Discovery that we never return to the starting point; or, top ut it another way, that *there are no closed causal chains*.” Tradução nossa. Grifo do autor.

III – Entropia, probabilidade e o Paradoxo de Loschmidt.

Após mostrar a relação entre a ordem temporal de distintos fenômenos conectados a partir de um evento e de atribuir a direção do tempo aos fenômenos irreversíveis, Reichenbach irá tratar daquilo que é responsável por determinar a irreversibilidade desses fenômenos irreversíveis, ou seja, da entropia:

Processos irreversíveis são aqueles em que a entropia cresce. (...) Se um estado A se transforma em um estado B e a entropia permanece constante em tal transformação, também será no caso do estado B transformar-se em A. No entanto, se durante a transformação de A para B a entropia aumenta, ou seja, se a entropia do estado B é maior que a do estado A, então a transformação inversa representaria uma queda na entropia; e como há uma lei física que estabelece que a entropia nunca reduz, o processo inverso será excluído.³⁸

Dado que existe uma feição da realidade que é essencialmente assimétrica e que determina a irreversibilidade dos fenômenos, podemos afirmar que os fenômenos reversíveis são possíveis apenas através de aproximações locais ou de sistemas fechados³⁹.

Ao tratar especificamente da entropia e do seu caráter assimétrico, Reichenbach irá estabelecer um forte diálogo com Boltzmann, que será a sua principal influência na demonstração da redução da causação à Física. Esse diálogo se dá fundamentalmente pelo fato de que Boltzmann, como fora dito anteriormente, foi o principal responsável por fornecer uma interpretação probabilística do conceito de entropia e, conseqüentemente, para a irreversibilidade que vigora na realidade. O fato de Boltzmann tornar o Princípio do Aumento da Entropia dependente da probabilidade terá uma dupla importância para as pretensões de Reichenbach.

A primeira consequência percebida por Reichenbach da interpretação probabilística da Entropia de Boltzmann reside na relação entre as chamadas Leis

³⁸ Ibid., p. 50: “Irreversible processes are those in which entropy increases. (...) If a state A is transformed into a state B and the entropy remains constant in this transition, then it will remain constant in this transition, then it will remain constant also in the inverse transition from B to A. If, however, during the transition from A to B the entropy is increased, that is, if the entropy in state B is larger than the entropy in state A, then the inverse transition would represent a decrease in entropy; and if it is a physical law that entropy never becomes smaller, the reverse process is excluded.” Tradução nossa.

³⁹ Reichenbach se refere a isso no seguinte trecho: “...reversible processes can be defined as limiting cases of actual processes. The same is true, incidentally, for the reversible processes of mechanics. In all actual mechanical processes there is some heat generation through friction; completely reversible processes do not exist.” (REICHENBACH, 1956, p. 52)

Causais e Leis Estatísticas. Chamaremos a mesma de *consequência formal* pois ela incide na estrutura que relaciona os dois tipos de Leis⁴⁰. Reichenbach diz:

Com o reconhecimento da distinção entre os dois tipos de leis, surgiu um problema importante. Qual dos dois tipos é o mais fundamental? É possível derivar uma da outra? Na época do Boltzmann a opinião geral era que o tipo de lei estrita tinha prioridade lógica. O uso de considerações estatísticas na termodinâmica, parecia ser somente um recurso, imposto a nós pelas limitações das habilidades humanas. (...) De acordo com este ponto de vista, as leis estatísticas seriam redutíveis, em última instância, a leis causais.⁴¹

No entanto, a partir de Boltzmann temos uma virada nessa concepção:

Como contraste, a opinião contrária defendia que a lei estatística era o tipo fundamental de lei. Não temos provas de que o movimento dos átomos seja governado por leis estritas. Talvez deveríamos explicar todas as leis causais da macrofísica, como produtos das leis dos grandes números, que transforma a probabilidade limitada dos acontecimentos elementares, numa elevada probabilidade dos processos em grandes quantidades.⁴²

A segunda consequência, que chamaremos de *consequência semântica*, trata diretamente do que significou a interpretação de Boltzmann para o conceito de Entropia. Conforme pudemos conferir no primeiro capítulo, a introdução da mecânica estatística na termodinâmica fez com que o Princípio do Aumento da Entropia fosse percebido não como uma lei anterior a todos os fenômenos, mas como algo que é fruto da probabilidade de ocorrência de uma dada situação. Assim, pudemos ver pelos exemplos analisados que os estados mais prováveis são aqueles em há um maior afastamento entre as partículas, ou seja, uma configuração com um grau de ordem menor. O equilíbrio de um dado sistema seria, portanto, a circunstância em que o grau de maior probabilidade tivesse sido atingido, sendo esse portanto o estado de maior Entropia. Reichenbach diz:

A aplicação de uma análise estatística da entropia a estados que não se encontram em equilíbrio permite explicar o movimento até o equilíbrio: os estados de equilíbrio possuem uma maior probabilidade e, assim, a evolução do gás desde estados de distribuição não-homogênea até estados mais

⁴⁰ É perfeitamente possível traçarmos um paralelo entre a visão corrente na época de Boltzmann, de que as leis estritas possuíam uma superioridade em relação às leis estatísticas, e a hierarquização entre as tradições experimental e teórica levantada pelo mesmo em “Sobre a mecânica estatística” em que o mesmo evidencia o status superior que a física teórica possuía diante da física experimental.

⁴¹ Reichenbach, *The direction of time*, p. 55, 56: “With the recognition of the distinction between the two kinds of law there arose an important question. Which of the two kinds is more fundamental? Is possible to derive the one from the other? In Boltzmann’s time, it was the general opinion that the strict type of law has a logical priority. The use of statistical considerations in thermodynamics appeared to be merely an expedient, forced upon us by the limitations of man’s abilities.” Tradução nossa.

⁴² Ibid., p. 56: “By contrast, the opposite opinion was uttered that perhaps statistical laws is the fundamental type of law. We have no proof that the motions of atoms is governed by strict laws. Perhaps we should explain all causal laws of macrophysics as the product of the law of large numbers, which transforms the limited probability of elementary occurrences into the high probability of processes in large assemblage.” Tradução nossa.

equânimes se mostra como uma tendência de que estados de probabilidade mais baixa se tornem estados de maior probabilidade.⁴³

Dado que o aumento da Entropia representa a ocorrência de um macroestado menos ordenado, o conceito de Entropia passa a ser entendido como uma medida do grau da desordem de um dado sistema (no caso, o sistema pode ser entendido como todo o Universo).

No contexto do que é discutido acima, surge o que podemos chamar de Paradoxo de Loschmidt. O Paradoxo de Loschmidt (ou paradoxo da reversibilidade)⁴⁴ é uma espécie de experimento mental apresentado pelo químico Josef Loschmidt como um contraponto às concepções de Boltzmann:

Segundo Loschmidt era impossível deduzir a irreversibilidade a partir das leis reversíveis da mecânica, pois se imaginarmos um sistema que de um estado inicial I em $t = 0$ evolui para um estado final mais desordenado F em $t = \tau$, haverá um aumento da entropia. Contudo, se imaginarmos um estado inicial $-F$ em $t = 0$ onde todas as partículas tem as mesmas posições que tinham em $t = \tau$ do caso anterior mas com todas as velocidades invertidas, então após um tempo $t = \tau$ elas chegarão ao estado $-I$ com as velocidades ainda invertidas. O movimento obtido é o mesmo que o anterior, mas em sentido retrógrado. Este processo parte de um estado mais desordenado (maior entropia) para um estado mais ordenado (menor entropia) e portanto a entropia diminui com o tempo. (Dahmen, 2006, p. 286)

Reichenbach, por sua vez, apresenta o paradoxo de uma forma alternativa, como pode ser visto a seguir:

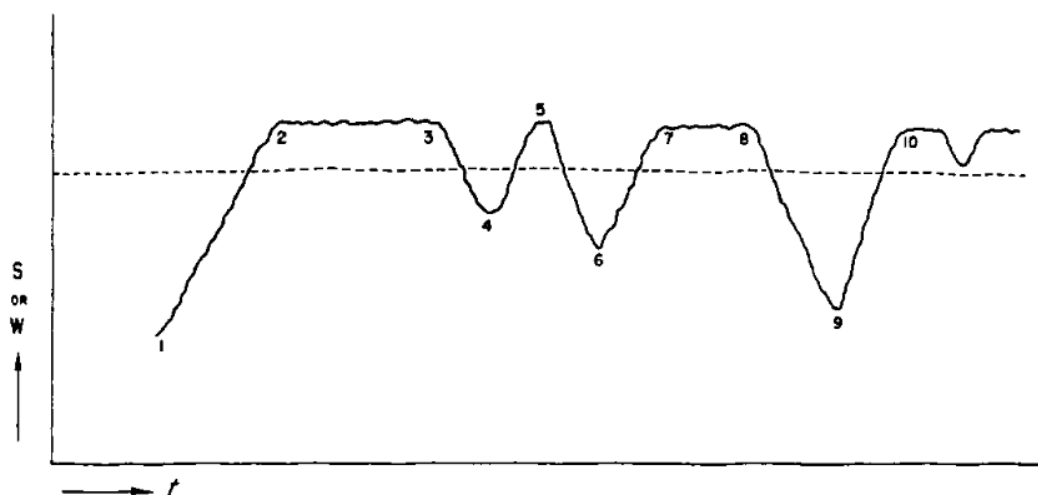
As mudanças da entropia S , ou da probabilidade W , em um sistema fechado que se inicia em um estado ordenado, (...) podem ser representadas por uma curva como a dada na figura (...). O macroestado inicial A, que supomos que se encontra na posição 1, tem uma entropia baixa. Desde este valor, a entropia se eleva a um valor alto na posição 2 e permanece próxima do valor mais elevado por um grande período de tempo. No entanto, não manterá este valor precisamente; sendo que ocorrerão flutuações que podem fazer a curva subir ou descer de forma irregular. As grandes flutuações são muito mais improváveis do que as pequenas; mas a sua probabilidade é maior do que zero e, portanto, devem ocorrer ocasionalmente.⁴⁵

⁴³ Ibid., p. 60: "Assigning to states of non-equilibrium a statistical form of entropy provides a means of explaining the movement toward equilibrium: states of equilibrium possess a higher probability, and the evolution of the gas from states of uneven distribution to states displaying equalization appears as a tendency to proceed from states of lower to states of higher probability." Tradução nossa.

⁴⁴ O paradoxo é motivado por uma questão simples, mas com um alto grau de dificuldade: dado que os microprocessos são reversíveis, como é possível compatibilizar isso com a irreversibilidade dos macroprocessos?

⁴⁵ Reichenbach, *The direction of time*, p. 111: "The changes of the entropy S , or of the probability W , in a closed system which begins to develop in an ordered state, (...) can be represented by a curve as given in figure (...). The initial microstate A, which we assume to be at place 1, has a low entropy. From this value the entropy rises to a high value at place 2 and then remains near the higher value for a long time. However, it will not keep this value precisely; there will be fluctuations, making the curve go up and down in an irregular fashion. Large fluctuations are much more improbable than smaller ones; but their probability is above zero, and therefore they must occur occasionally." Tradução nossa.

Figura 13 – A curva da entropia em um sistema fechado



Fonte: Hans Reichenbach, *The Direction of time*, p. 111.

É inegável que o paradoxo de Loschmidt, tanto em sua formulação original quanto na formulação apresentada por Reichenbach, apresenta um questionamento importante acerca da proposta de Boltzmann. Para tentar dar uma resposta a ele, Boltzmann apelará para o fato de que quando tratamos do movimento de moléculas no interior de um gás estamos falando de quantidades assustadoramente grandes⁴⁶.

Ao discutir o tema do paradoxo de Loschmidt em seu livro *Asymmetries in time*, Paul Horwich apresenta uma solução interessante. Para ilustrar a questão, consideremos que, para um dado sistema isolado, A seja o microestado ordenado de baixa entropia que terá como consequência o estado de equilíbrio B, de alta entropia e desordem. Já os estados A* e B* representariam, respectivamente, os estados A e B com velocidades invertidas. Para Horwich, não podemos afirmar que a transição de A para B é equiprovável em relação à transição de B* para A*. Ele diz:

No entanto, como os sistemas reais não são, de fato, isolados, não há razão para esperar que B*, no mundo real, produza A* ou qualquer outro estado de baixa entropia. Isso ocorre porque a organização precisa das moléculas necessárias para evoluir para um estado de baixa entropia é muito sensível e seria destruída pela menor interferência. Assim, perturbações externas destroem a reversibilidade. Mesmo que todos os microestados de alta entropia - incluindo B e B* - ocorram com igual frequência, não podemos concluir que para cada processo final de aumento de entropia, corresponde

⁴⁶ Dahmen, 2006, 286: “Mas, segundo Boltzmann, este argumento era apenas um belo sofisma, pois sua inaplicabilidade advinha do fato que até mesmo o número de moléculas num pequeno volume de um gás era tão assustadoramente grande que uma reversão de todas as velocidades seria algo impensável.”

um estado inicial de um processo de decréscimo de entropia. Assim, a objeção de Loschmidt parece estar solucionada.⁴⁷

Dado que a situação de equilíbrio deve ser atingida, como podemos dizer que a entropia é assimétrica? O que devemos ter em mente para pensar nisso é o fato de que a assimetria que se associa à entropia é uma circunstância local, e não global e válida a todo o tempo. Essa é uma questão importante e que será retomada posteriormente.

IV – O Critério de Transferência de Marca e o Princípio da Causa Comum.

Após dar todos os passos que tratamos anteriormente, Reichenbach parte para o ponto fundamental de sua argumentação: após determinar a redutibilidade das leis estritas às leis estatísticas, como podemos mostrar que a causação é redutível à entropia? A resposta à essa pergunta reside naquilo que Reichenbach nomeará de *critério de transferência de marca*. Tal critério parte da concepção de causa que determina que “se E_1 é a causa de E_2 , então uma mínima variação (uma marca) em E_1 é associada a uma mínima variação em E_2 , enquanto pequenas variações em E_2 não estão associadas a variações em E_1 ”⁴⁸. Em suma, o que Reichenbach quer dizer é que uma relação causal entre dois eventos E_1 e E_2 , sendo E_1 causa de E_2 , implica que sempre que ocorrer uma marca em E_1 , essa marca será necessariamente transmitida a E_2 , sendo a relação recíproca inválida.

Para ilustrar a aplicabilidade do critério de transferência de marca na demonstração do reducionismo de Reichenbach, abordaremos um exemplo que foi descrito pelo próprio autor e um outro, plenamente original. O exemplo tratado por Reichenbach é o seguinte: Imagine uma situação em que uma pessoa, ao iniciar uma caminhada na areia de uma praia, deixe uma marca na areia. Nesse caso, os eventos ocorrentes são a interação entre o pé e a areia (E_1) e a areia com a marca da pegada (E_2).

⁴⁷ Horwich, *Asymmetries in time*, p. 65: “However, since actual systems are, in fact, not isolated, there is no reason to expect that B^* would, in the real world, produce either A^* or any other low entropy state. This is because the precise organization of molecules required to evolve into a low entropy state is very sensitive, and would be wrecked by the slightest interference. Thus, outside disturbance destroys reversibility. Even if all high entropy microstates - including B and B^* - occur equally often, we cannot conclude that for every final state of entropy increasing process, there correspond an initial state of an entropy decreasing process. Thus Loschmidt objection appears to be dealt with”. Tradução nossa.

⁴⁸ Reichenbach, *The philosophy of space and time*, p. 136: “If E_1 is a cause of E_2 , then a small variation (mark) in E_1 is associated with a small variation in E_2 , whereas small variations in E_2 are not associated with variations in E_1 ”. Tradução nossa.

Como o evento E_1 deixa uma marca que permanece em E_2 , dizemos pelo critério de transferência de marca que ele é a causa, e o outro é o efeito. Em que medida isso se relaciona, portanto, com a entropia? No ponto em que, de acordo com uma interpretação probabilística do princípio da entropia, a desordem é a tendência natural de todos os processos. Sendo assim, a probabilidade de que um processo de alto grau de ordem como a marca de uma pegada humana que é deixada na areia de uma praia ocorra de forma espontânea tende a zero. Desta forma, um evento ordenado como uma pegada que é deixada na areia só pode ser produzida por um outro evento que seja a sua causa, responsável por transferir a marca.

O outro exemplo que será tratado aqui é o das esferas de pedra da Costa Rica. A partir do século XIX, diversas bolas de pedra começaram a ser encontradas no território da Costa Rica. Essas bolas, que hoje totalizam mais de trezentas, tem tamanhos diversos, chegando a pesar algumas toneladas.

Figura 14 – Esferas de pedra da Costa Rica.



Fonte: <http://www.jornalciencia.com/conheca-as-misteriosas-esferas-esculpidas-em-pedra-por-antigos-habitantes-da-costa-rica/>

O formato das bolas de pedra costarriquenhas é bem próximo do formato de uma esfera. Isso significa que o grau de ordenação envolvido na forma das mesmas é elevadíssimo, o que tornaria pouquíssimo provável que elas tivessem ocorrido de forma

espontânea na natureza, dada a tendência à desordem que está implicada no princípio do aumento da entropia. Sendo assim, mesmo se inicialmente não tivessem sido encontrados grandes indícios da existência de antigas civilizações naquela região, somente a própria forma espontaneamente improvável das bolas de pedra já seria motivo o suficiente para se crer numa existência anterior de homens na região que as teria esculpido, marcando-as com o formato esférico.

Os exemplos apresentados conseguem, portanto, demonstrar a importância do critério de transferência de marca para o projeto de Reichenbach, como o principal elemento que garante a redução da assimetria causal à entropia.

Na visão de Reichenbach, a interpretação probabilística do critério de transferência de marca leva a uma generalização em que o estabelecimento de relações causais e a distinção entre causas e efeitos não mais dependeria de uma observação direta acerca do aumento da entropia. Essa generalização, nomeada de Princípio da Causa Comum, é apresentada por Reichenbach a partir de um exemplo ilustrativo, seguido de uma explicação:

Vamos supor que um raio inicia o incêndio de um matagal, e que um vento forte espalha o fogo, de forma que isso torne o desastre ainda maior. A coincidência entre fogo e vento possui um efeito comum, que é o aumento da área queimada. Mas, quando nos questionamos acerca dessa coincidência, não referimos à um efeito comum, mas procuramos por uma causa comum. A tempestade que produziu o raio também foi responsável pela ventania, e a coincidência improvável é, assim, explicada.

O esquema dessa conclusão ilustra que o improvável deve ser explicado em termos das causas, não em termos dos efeitos. (...) O esquema lógico que a governa pode ser chamado de *princípio da causa comum*. Ele pode ser formulado da seguinte forma: *se uma improvável coincidência ocorre, deve haver uma causa comum*.⁴⁹

Encontramos diversos outros exemplos de nossa experiência em que o princípio da causa comum surge como uma inferência realizada por nós. Um desses exemplos é o seguinte: Imagine uma situação em que uma pessoa encontra os seus amigos à noite em um determinado lugar e que esse lugar não possui músicas e nem iluminação. Na

⁴⁹ Reichenbach, *The direction of time*, p. 157: “Suppose that lightning starts a brush fire, and that a strong wind blows and spreads a fire, which is thus turned into a major disaster. The coincidence of fire and wind has here a common effect, the burning over of a wide area. But when we ask why this coincidence occurred, we do not refer to the common effect, but look for a common cause. The thunderstorm that produced the lightning also produced the wind, and the improbable coincidence is thus explained.

The schema of this reasoning illustrates the rule that the improbable should be explained in terms of causes, not in terms of effects. (...) The logical schema which governs it may be called the *principle of the common cause*. It can be stated in the form: *If an improbable coincidence has occurred, there must exist a common cause.*” Tradução nossa. Grifo do autor.

tentativa de melhorar a visibilidade e de colocar uma música para animar o encontro, a pessoa aproxima o seu carro e deixa o farol e o som ligados na bateria do carro, visto que possui pouco combustível. Depois de um tempo de conversa, no momento em que o mais extrovertido dos amigos contava uma piada, imagine que simultaneamente o som e o farol se apagam e que isso gera um efeito, que é a interrupção da piada. A probabilidade de ocorrência simultânea dos dois eventos é muito pequena. Sendo assim, é natural que se pense que tenha havido algum problema com a comunicação elétrica do veículo que mantém a bateria ligada aos aparelhos, ou até que a própria bateria tenha acabado. O problema de ordem elétrica será, nessa situação, a causa comum.

Para tratar da formalização do princípio da causa comum (REICHENBACH, 1956, p. 158 e 159), vamos considerar a ocorrência de dois eventos simultâneos **A** e **B**, em que a probabilidade **P** de ocorrência de tais eventos (quando não são independentes) é dada por:

$$P(A.B) > P(A).P(B)$$

Equação 8

Nesse caso, há uma correlação probabilística entre **A** e **B**, de forma que um aumenta a probabilidade de ocorrência do outro:

$$P(A|B) > P(A) \text{ e } P(B|A) > P(B)^{50}$$

Equação 9

Sendo **A** e **B** dois eventos em que um não é a causa do outro, mas cuja probabilidade de ocorrência é aumentada com a ocorrência do outro, deve-se inferir a existência de uma causa comum **C** de ambos que, nas palavras de Reichenbach, promove um *screening off*

⁵⁰ A notação $P(B|A)$ representa a probabilidade de ocorrência de B, dado A. ao invertermos A e B, teremos a probabilidade de ocorrência de A, dado B.

(compartimentalização) de **A** e **B**. **C** deverá, assim, obedecer às seguintes relações probabilísticas (REICHENBACH, 1956, p. 231)⁵¹:

$$P(A.B|C) = P(A|C).P(B|C)$$

$$P(A.B|\sim C) = P(A|\sim C).P(B|\sim C)$$

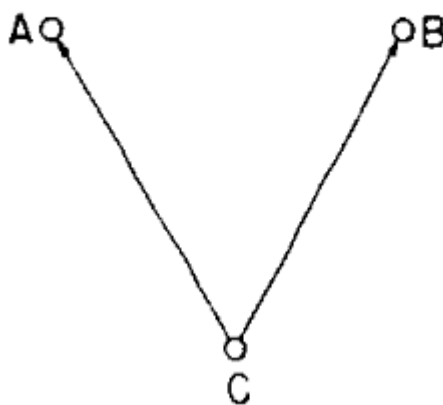
$$P(A|C) > P(A|\sim C)$$

$$P(B|C) > P(B|\sim C)$$

Equações 10 a 13

Satisfazendo as relações probabilísticas acima, temos que a causa comum **C** é representada, relacionando-se à **A** e **B**, através da chamada bifurcação conjuntiva. A bifurcação conjuntiva deve seguir o padrão da rede causal, estando fechada para o passado e aberta para o futuro:

Figura 15 – Bifurcação conjuntiva aberta para o futuro.



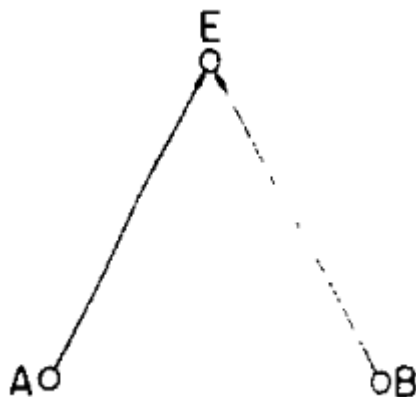
Fonte: Hans Reichenbach, *The Direction of time*, p. 159.

A consideração de um efeito comum **E** (sem considerarmos a causa comum **C**) determinando a bifurcação conjuntiva colocaria a abertura voltada para o passado e a compartimentalização probabilística entre **A** e **B** dependente de **E**, que seria uma

⁵¹ Usamos aqui uma notação diferente da utilizada por Reichenbach. O símbolo “ $\sim$ ” indica que há uma negação.

espécie de causa final. Dado que a causa final é incompatível com o critério de transferência de marca, tal bifurcação é impossível.

Figura 16 – Bifurcação conjuntiva aberta para o passado.



Fonte: Hans Reichenbach, *The Direction of time*, p. 159.

Com a demonstração da forma como uma interpretação probabilística da entropia – vista como uma feição assimétrica da realidade – determina a assimetria da causação, temos a concepção de Reichenbach da causação como uma visão probabilística. Posteriormente, o trabalho de Reichenbach terá grande influência na Teoria Probabilística desenvolvida por Patrick Suppes e na chamada Teoria Processual de Wesley Salmon.

2.4 – Considerações finais

No primeiro capítulo da presente dissertação, tratamos da discussão acerca da existência de simetria nas leis físicas. Evidenciamos o fato de que as leis físicas possuem simetria espacial e temporal, mas tratamos do princípio do aumento da entropia, em sua interpretação probabilística, como sendo uma espécie de feição assimétrica da realidade, em que fosse condensada toda a irreversibilidade presente no mundo físico.

No segundo capítulo a discussão fundamental se deu acerca da forma como Hans Reichenbach se apropria da concepção probabilística do princípio da entropia para desenvolver a sua teoria causal. Inicialmente tratamos das ideias de Ludwig Boltzmann, em que o mesmo discute a importância da mecânica estatística, que lida com fenômenos térmicos de forma probabilística, para que a hierarquia entre a física teórica e a física experimental fosse finalmente revista. Essa revisão teve influências muito grandes no desenvolvimento da física e da filosofia da ciência do século XX e foi decisiva para os trabalhos de Hans Reichenbach. Por fim, Boltzmann se aproveita do exemplo da mecânica estatística para tratar da questão da irreversibilidade dos fenômenos naturais, o que diferencia a entropia de forma definitiva dos demais princípios físicos.

Na sequência do capítulo tratamos especificamente da forma como Hans Reichenbach se utiliza da Física em seus passos argumentativos para construir uma teoria causal pautada na probabilidade. Apresentamos assim a defesa por parte do autor daquilo que ele chama de Filosofia Científica, que nada mais é do que a ideia de que a Filosofia, para progredir, precisa utilizar os conceitos desenvolvidos pela ciência. Nessa Seara, partimos diretamente para os passos da tese de Reichenbach, que determina uma redutibilidade da assimetria da causação à Física, especificamente à entropia. Primeiramente Reichenbach irá defender que, mesmo em fenômenos aparentemente reversíveis, a concomitância dos mesmos com eventos irreversíveis nos possibilita perceber uma direcionalidade do tempo. Em seguida, há a distinção entre Leis Estritas Causais e Leis Estatísticas, e a afirmação por parte de Reichenbach que Boltzmann foi o responsável por inverter a perspectiva vigente na sua época: antes de Boltzmann, Leis Estatísticas eram derivadas de Leis Estritas, o que na visão do filósofo será invertido a partir da mecânica estatística.

O momento mais importante da referência ao texto de Reichenbach ocorre após o paradoxo da reversibilidade, onde são apresentados dois argumentos poderosos do autor: O critério de transferência de marca e o princípio da causa comum. Esses dois artifícios, como foi tratado no texto, são as ferramentas mais importantes de Reichenbach na tentativa de demonstrar aquilo que pretendia.

No terceiro e último capítulo apresentaremos o desenrolar do reducionismo após o trabalho de Reichenbach. Nesse ponto, existem diversos autores que, cada qual com sua perspectiva, se tornam muito importantes para a continuidade do debate.

Apresentaremos também as críticas mais relevantes acerca da perspectiva reducionista como Huw Price e Brad Weslake.

Capítulo 3

O debate acerca das teorias reducionistas contemporâneas

Hoje estou digitando palavras em uma página. Suponha que hoje fosse diferente. Suponha que eu estivesse digitando palavras diferentes. Então, manifestamente, amanhã seria diferente também; por exemplo, palavras diferentes iriam aparecer na página. Ontem também seria diferente? Convidado a responder, talvez você venha a propor alguma coisa. Mas não acho que haja alguma coisa que você possa dizer sobre como ontem seria que aparentará, claramente e sem controvérsias, ser verdadeiro.⁵²

3.1 – Observações preliminares

No capítulo anterior da dissertação explicamos a teoria da causação de Hans Reichenbach focando naquilo que é de nosso principal interesse: a assimetria causal. Inicialmente, focamos nas reflexões de Ludwig Boltzmann acerca da mecânica estatística e das ciências do seu tempo. Percebemos que Boltzmann é um pensador cujas reflexões acerca da ciência incidiram diretamente na sua prática científica. A importância do aspecto estatístico na fundamentação de leis estritas é algo que a mecânica estatística desvela de forma pioneira. A refletir sobre essa questão Boltzmann irá questionar a forma como a comunidade científica da sua época segregava os cientistas experimentais dos teóricos, provocando uma hierarquia que, na visão do Físico, deveria desaparecer.

O pensamento de Boltzmann, bem como a sua concepção estatística da entropia, irão influenciar de forma decisiva o filósofo Hans Reichenbach. Partindo da

⁵² David Lewis, *Counterfactual dependence and time's arrow*, p. 32: "Today I am typing words on a page. Suppose today were different. Suppose I were typing different words. Then plainly tomorrow would be different also; for instance, different words would appear on the page. Would yesterday also be different? If so, how? Invited to answer, you will perhaps come up with something. But I do not think there is anything you can say about how yesterday would be that will seem clearly and uncontroversially true." Tradução: Breno Sardenberg.

ideia de que questões filosóficas devem ser respondidas utilizando-se a ciência, Hans Reichenbach irá traçar um caminho argumentativo para mostrar que a assimetria da causação é redutível à assimetria da entropia. Tal concepção pode ser vista como um tipo de reducionismo, pois estabelece que o fundamento das relações causais se encontra nos fenômenos e na probabilidade de ocorrência dos mesmos, ou seja, na própria realidade física.

A teoria reducionista de Reichenbach representa um marco nas teorias acerca da causação. Após as suas reflexões surgiram uma série de teorias reducionistas paralelas e posicionamentos críticos acerca de tais concepções. O presente capítulo marca precisamente o desenvolvimento de algumas dessas teorias paralelas, os pontos de convergência e divergência que elas possuem entre si e em relação à posição de Reichenbach e as críticas que elas recebem por parte de filósofos que leem a causação por perspectivas diferentes e que não recorrem a tal tipo de reducionismo.

3.2 – O Pós-Reichenbach: A teoria contrafactual de David Lewis e uma outra abordagem para o *screening-off*.

Nas décadas que se sucederam ao trabalho de Hans Reichenbach, alguns pensadores trataram de refletir acerca do problema da assimetria da causação e da possível redução da mesma a aspectos do mundo físico. Nesse sentido, daremos uma ênfase especial e inicial à teoria contrafactual de David Lewis.

3.2.1 – O elemento contrafactual na definição de causa em David Hume

Em sua obra *Investigações sobre o entendimento humano*, o filósofo escocês David Hume fornece, após uma longa discussão sobre a origem das nossas inferências causais, uma definição de causa. Essa definição é a seguinte:

Objetos semelhantes estão sempre conjugados a objetos semelhantes; disso temos experiência. Podemos, portanto, em conformidade com essa experiência, definir uma causa como *um objeto, seguido de outro, tal que todos os objetos semelhantes ao primeiro são seguidos por objetos semelhantes ao segundo*. Ou, em outras palavras, *tal que, se o primeiro objeto não existisse, o segundo jamais teria existido*. (HUME, seção 5, parágrafo 8)

Podemos notar que mesmo que não tivesse esse objetivo, Hume, na última parte da citação supra, ao tentar definir a relação causal ratificando o que havia dito antes, oferece uma definição que se diferencia bastante do que havia dito anteriormente.

A primeira definição, em que Hume enfatiza o fato de objetos semelhantes que se seguem uns dos outros em diversas ocasiões, possui um aspecto regularista muito forte. Já a segunda parte apresenta um elemento contrafactual, pois coloca como critério para a relação causal entre um termo A (causa) e outro B (efeito) a exigência de que se A não existisse, B também não existiria. Perceber esse elemento contrafactual será fundamental para que David Lewis desenvolva a sua teoria contrafactual da causação.

3.2.2 – A sintaxe da teoria contrafactual de Lewis

O desenvolvimento da teoria contrafactual de David Lewis passa por um ponto fundamental: a significação dos chamados condicionais contrafactuais. Os contrafactuais

são absolutamente indispensáveis para o nosso pensamento ao considerarmos possibilidades e engajarmos em raciocínios hipotéticos. Eu penso com sentido que “se tivesse nascido mais alto, teria sido um grande jogador de basquete”. A definição jocosa do termo “hipótese” também é ilustrativa: “hipótese é algo que não sabemos se é verdadeiro, mas supomos verdadeiro para ver como seria se fosse”. (AGUIAR, 2018, p. 90)

Ciente da importância dos contrafactuais para a nossa forma ordinária de raciocinar, David Lewis lançará mão de um sistema que visa determinar os critérios para o estabelecimento do condicional contrafactual. O condicional contrafactual se distinguirá do condicional material da lógica clássica basicamente em três aspectos fundamentais:

- *O princípio da contraposição não é válido*⁵³;
- *A regra do fortalecimento do antecedente não é válida*⁵⁴;
- *Não é válida a regra da transitividade.*

⁵³ O princípio lógico da contraposição determina que, dado que A implica B, então não-B implica não-A.

⁵⁴ A regra lógica do fortalecimento do antecedente diz que, dado que A implica B, então a conjunção de A com qualquer outra coisa continua a implicar B.

Assim, Lewis utiliza a sintaxe contrafactual em que, no lugar do condicional lógico tradicional (que denota implicação material) é utilizado o condicional contrafactual (que será representado aqui pelo símbolo “ $\gg$ ”). Lewis faz, a partir disso, uma associação direta entre condicional contrafactual e causação e desenvolve uma regra que expresse a ideia de causação com base no significado do condicional contrafactual. Tal regra, chamada de *dependência causal*, pode ser entendida da seguinte forma:

- *Existe dependência causal entre C e E se há dependência contrafactual entre ambos, ou seja, se caso o evento C não tivesse ocorrido, E também não ocorreria.*

À partir disso, Lewis lança a seguinte definição que explica a causação em termos de condicionais contrafactuais: *C causa E, se e somente se existe dependência causal entre C e E.*

Tendo sido definida a interpretação de causa em função de um condicional contrafactual, Lewis apresenta uma semântica que, tendo como base a noção de mundos possíveis, teria como principal objetivo estabelecer um critério para verdade dos contrafactuais.

3.2.3 – A semântica de mundos possíveis

Para fornecer uma lógica de funcionamento adequada à teoria contrafactual da causação, David Lewis irá, como foi dito anteriormente, eleger a semântica dos mundos possíveis para conferir completude à sua teoria. Assim, o critério estabelecido por Lewis para conferir veracidade aos contrafactuais é o seguinte:

- *C $\gg$ E é verdadeira se, e somente se, algum mundo, em que C e E são verdadeiras, é mais similar ao nosso mundo que qualquer mundo, em que E é verdadeira e C, falsa.*⁵⁵

⁵⁵ Túlio Aguiar, *Causalidade e direção do tempo*: “Tal critério é chamado de ‘critério de Lewis’”. 2008, p. 93.

Assim, após ter estabelecido a semântica de mundos possíveis como base para sustentar a sintaxe contrafactual, Lewis nos fornece uma série de critérios para que a sua concepção de similaridade entre mundos possíveis seja garantida. Tais critérios – em ordem de importância – são:

- (1) É importante, em primeiro lugar, evitar diversas, bem difundidas e grandes violações da lei.
- (2) É importante, em segundo lugar, maximizar a região espaço-temporal ao longo da qual prevalece a correspondência perfeita dos fatos particulares.
- (3) É importante, em terceiro lugar, evitar mesmo pequenas, simples e localizadas violações da lei.
- (4) É de pouca ou nenhuma importância assegurar a similaridade aproximada dos fatos particulares, mesmo em questões que nos concernem em grande medida. (LEWIS, 1986)

Tendo estabelecido tal ordenação de critérios de similaridade, podemos perceber que, na visão de Lewis, a principal preocupação em se estabelecer semelhança entre mundos possíveis deve ser investida em evitar ao máximo alterações consideráveis nas leis da natureza – o que dá às leis da natureza um papel fundamental na semântica de mundos possíveis de Lewis. Manter o maior número possível de correspondências entre matérias de fato também será uma preocupação importante para Lewis. Sendo assim, Lewis lança mão do conceito de *milagre* para se referir a suspensões pontuais dos efeitos das leis físicas e coloca a existência de um milagre como sendo algo que não tende a provocar uma grande dissimilaridade em relação ao mundo atual.

Considerando a circunstância em que no mundo atual *C* é causa de *E*, e interpretando a influência dos critérios acima no estabelecimento de similaridades entre os mundos possíveis (que garantem a validade da relação de semelhança da dependência contrafactual com a dependência causal), temos a seguinte ordem de mundos similares:

C e E (*w*: mundo atual);

$\neg C e \neg E$ (*w*₁: mundo possível 1);

$\neg C e E$ (*w*₂ – mundo possível 2).

Na consideração acima, percebemos que *w*₂ é mais afastado de *w* do que *w*₁ devido ao fato de que as mudanças no mundo atual necessárias para que um dado efeito ocorra

sem a sua causa seriam muito maiores do que aquelas geradas na situação em que causa e efeito deixam de ocorrer.

O exemplo que Lewis utiliza para demonstrar as regras de similaridade expostas anteriormente é o caso do ex-presidente Richard Nixon e o holocausto nuclear (LEWIS, 1976). Nessa situação, Nixon é colocado como alguém que possui em sua mesa um botão capaz de gerar um holocausto nuclear. Considerando que no mundo atual Nixon não apertou o botão e nem ocorreu um holocausto nuclear, Lewis propõe 4 possibilidades:

- 1- Um mundo exatamente igual ao nosso até o instante em que Nixon, por intermédio de um milagre, aperta o botão e gera o holocausto nuclear;
- 2- Um mundo em que não há nenhuma alteração das leis da natureza, mas em que Nixon aperta o botão e gera o holocausto nuclear;
- 3- Um mundo em que ocorre um pequeno milagre, Nixon aperta o botão, e logo em seguida ocorre outro pequeno milagre e o holocausto nuclear não acontece;
- 4- Um mundo em que ocorre um pequeno milagre, Nixon aperta o botão, e logo em seguida ocorre um grande milagre que apaga todos os possíveis registros disso e impossibilita a ocorrência do holocausto nuclear.

Para Lewis, os casos 1 e 2 revelam mundos mais próximos do mundo atual do que 3 e 4 porque:

- Os milagres ocorridos em 4 não são pontuais, implicando em alterações significativas nas leis físicas;
- As diferenças dos traços decorrentes dos milagres ocorridos em 3 é significativa para criar um mundo possível muito diferente do atual (inclusive no aspecto psicológico do presidente americano).

Temos, pelo exemplo dado, a justificativa para a maior proximidade de w_1 em relação a w do que w_2 .

3.2.4 – A assimetria causal contrafactual

Definidos alguns aspectos relevantes da teoria contrafactual, resta para Lewis assegurar a assimetria causal, ou seja, impedir que o efeito seja “causa da causa”. Para tal, o contrafactual $\neg E \gg \neg C$ precisa ser negado. E Lewis o faz, afirmando ser o presente, normalmente, sobredeterminado pelo futuro, mas não vice-versa. Lewis diz:

Qualquer fato particular sobre um mundo determinístico está predeterminado ao longo do passado e pós-determinado ao longo do futuro. Em qualquer tempo, passado ou futuro, ele tem ao menos um determinante: um grupo mínimo de condições conjuntamente suficientes, dadas as leis da natureza, para o fato em questão. (Membros de um tal grupo podem ser causas do fato, ou traços deles, ou nenhum dos dois). O fato pode ter apenas um determinante em um dado tempo, desconsiderando diferenças inessenciais de um modo que não tentarei tornar preciso. Ou ele pode ter dois ou mais determinantes essencialmente diferentes em um dado tempo, cada um suficiente por si mesmo. Em caso afirmativo, o fato está, nesse dado tempo, sobredeterminado. A sobredeterminação é uma questão de grau: pode haver dois determinantes, ou pode haver muito mais do que dois.⁵⁶

Nesse âmbito, em termos causais, um evento tem relativamente poucas causas alternativas, mas uma enorme quantidade de efeitos. Com isso, o mundo mais próximo do nosso em que E não ocorre, é o que C ocorre, pois o evento C (causa) deixa uma quantidade de traços que seria muito complicado repor sem ele. Assim, antes do mundo $w_1 : \neg C$ e $\neg E$, temos um $w_0 : C$ e $\neg E$ que garante a assimetria causal da teoria contrafactual⁵⁷. Um importante exemplo notado por Popper (1956) e usado por Lewis

⁵⁶ David Lewis, *Counterfactual dependence and time's arrow*, p. 50: “Whatever goes on leaves widespread and varied traces at future times. Most of these traces are so minute or so dispersed or so complicated that no human detective could ever read them; but no matter, so long as they exist. It is plausible that very many simultaneous disjoint combinations of traces of any present fact are determinants thereof; there is no lawful way for the combination to have come about in the absence of the fact. (Even if a trace could somehow have been faked, traces of the absence of the requisite means of fakery may be included with the trace itself to form a set jointly sufficient for the fact in question.) If so, the abundance of future traces makes for a like abundance of future determinants. We may reasonably expect overdetermination toward the past on an altogether different scale from the occasional case of mild overdetermination toward the future.” Tradução: Breno Sardenberg.

⁵⁷ Túlio Aguiar, *Causalidade, contrafactuais e leis*. 2018, p. 94: “O argumento é que o mundo mais próximo ao nosso, em que C e E ocorreram, é um mundo em que C ainda ocorreu e, por alguma razão, falhou em produzir E . Isto se deve ao fato de que o futuro sobredetermina o passado: cada evento passado tem vários determinantes no futuro chamados traços. A partir de um traço mais as leis da natureza, nós podemos remontar ao evento passado em questão. Por exemplo, alguém que dispara uma arma de fogo, introduz vários traços no futuro como vestígios de pólvora, os passarinhos que saíram voando assustados, traços na consciência do agente (eventualmente culpa e mudança de comportamento decorrente dela) e assim por diante. Seria muito difícil repor todo este estoque de traços em um mundo onde de fato não houve o disparo da arma e, assim, o mundo mais próximo ao nosso é um mundo onde a causa ocorreu, mas, por alguma razão, não produziu determinado efeito. Desta maneira, o contrafactual retrocedente “se E não tivesse ocorrido, C não teria ocorrido” é simplesmente falso. A tese de que o futuro sobredetermina o passado, segundo Lewis, é empírica, pois só vale para mundos que têm um grau de complexidade semelhante ao nosso, não valendo, por exemplo, para um mundo que consistisse de apenas dois átomos. Em tais mundos, parece-me, teríamos um tipo de relação causal degenerada.” Grifo nosso.

para ratificar a assimetria da sobre-determinação é o exemplo da expansão da radiação. Lewis diz:

Existem processos nos quais uma onda esférica se expande de um ponto de origem para fora, até o infinito. Os processos opostos, nos quais uma onda esférica se contrai a partir do infinito e é absorvida, obedeceria igualmente bem às leis da natureza. Mas eles nunca ocorrem. Ambos os tipos de processo exibem uma extrema determinação em uma direção. Incontáveis e minúsculas amostras da onda determinam, cada uma, o que acontece no ponto espaço-tempo onde a onda é emitida ou absorvida. Os processos que ocorrem são aqueles nos quais essa sobre-determinação extrema vai em direção ao passado, e não aqueles nos quais ela vai em direção ao futuro. Sugiro que isso é verdadeiro de modo mais geral.⁵⁸

Ao concluir acerca da questão da assimetria da sobre-determinação, David Lewis faz uma observação instigante:

Deixe-me enfatizar, uma vez mais, que a assimetria da sobre-determinação é contingente, matéria *de facto*. Além do mais, ela poderia ser local, sustentando-se nas proximidades, mas não em partes remotas do espaço e do tempo. Se for o caso, então tudo que nela repousa – as assimetrias dos milagres, da dependência contrafactual, da causação e da abertura – pode, da mesma forma, ser local e estar sujeito a exceções.

Lamento não saber como conectar as diversas assimetrias que discuti à assimetria da entropia.⁵⁹

A observação de Lewis revela 3 pontos importantes: que a assimetria da sobre-determinação não se sustenta em partes remotas do espaço e do tempo; que a assimetria da sobre-determinação é contingente; e que poderia haver uma pretensão velada de Lewis de associar a sobre-determinação à entropia. Alguns desses pontos serão oportunamente abordados em outros momentos desse capítulo.

⁵⁸ David Lewis, *Counterfactual dependence and time's arrow*, p. 50: "There are processes in which a spherical wave expands outward from a point source to infinity. The opposite processes, in which a spherical wave contracts inward from infinity and is absorbed, would obey the laws of nature equally well. But they never occur. A process of either sort exhibits extreme overdetermination in one direction. Countless tiny samples of the wave each determine what happens at the space-time point where the wave is emitted or absorbed. The processes that occur [in our world] are the ones in which this extreme overdetermination goes toward the past, not those in which it goes toward the future. I suggest that the same is true more generally." Tradução: Breno Sardenberg.

⁵⁹ Ibid., p. 50 e 51: "Let me emphasize, one more, that the asymmetry of overdetermination is a contingent, *de facto* matter. Moreover, it may be a local matter, holding near here but not in remote parts of time and space. If so, then all that rests on it – the asymmetry of miracles, of counterfactual dependence, of causation and openness – may likewise be local and subject to exceptions.

I regret that I do know how to connect the several asymmetries I have discussed and the famous asymmetry of entropy." Tradução: Breno Sardenberg.

3.2.5 – A assimetria do screening-off: uma nova abordagem.

Como pudemos ver no capítulo anterior, a ideia de compartimentalização ou *screening-off* inicialmente apresentada por Hans Reichenbach será um elemento fundamental para a questão da assimetria da causação. Nessa seara, David Papineau apresenta uma nova roupagem da mesma, visando combinar elementos importantes de outros teóricos contemporâneos da causação como John Mackie e Patrick Suppes. Apresentemos, portanto, a ideia base de cada uma delas antes de adentrar especificamente naquilo que Papineau nos oferece.

Na tentativa de fornecer uma definição adequada à palavra causa, o filósofo australiano John Mackie elabora um conceito denominado por ele de *condição INUS*⁶⁰. De acordo com tal conceito, uma causa de um evento particular é tida como uma parte *necessária mas insuficiente* (o que corresponde a “IN”) de uma condição *desnecessária mas suficiente* (o que corresponde a “US”). Um exemplo apresentado por Mackie e que é largamente explorado na literatura que aborda a causação é uma circunstância em que um curto-circuito é identificado por especialistas como sendo a causa de um incêndio. Sobre isso, duas coisas fundamentais podem ser observadas:

- *O curto-circuito é apenas uma parte de um todo que fez com que o incêndio ocorresse;*
- *O conjunto de coisas que fez com que o incêndio ocorresse poderia ser outro, pois um incêndio pode ocorrer de formas distintas.*

A consequência dessas informações é tratada por Mackie da seguinte forma:

O curto-circuito que é tido como o causador do fogo é tido como uma parte indispensável de uma complexa e suficiente (embora não necessária) condição para a ocorrência do fogo. Nesse caso, então, aquilo que é chamado e conhecido como sendo a causa, é uma parte insuficiente mas necessária de uma condição que é ela mesma não-necessária mas suficiente para o resultado. Os especialistas estão dizendo, na verdade, que o curto-circuito é uma condição deste tipo, que ocorreu, que as outras condições que se juntaram a ele para formar uma condição suficiente também estavam presentes, e que nenhuma outra condição suficiente da casa pegando fogo estava presente nesta ocasião. Sugiro que, quando falamos da causa de algum

⁶⁰ Mackie, *Causes and Conditions*, 1965, p. 245.

acontecimento particular, muitas vezes é uma condição desse tipo que temos em mente.⁶¹

Assim é definida, portanto, a causa como condição INUS de algo.

A teoria probabilística da causação também irá exercer uma grande influência no pensamento de Papineau. Em seu livro *A probabilistic theory of causality* Patrick Suppes apresenta, baseado no pensamento sobre compartimentalização de Reichenbach, a sua teoria probabilista da causação utilizando duas definições distintas de causa. A partir das duas definições, constrói-se uma terceira e definitiva, como pode ser visto no esquema de abaixo:

1- Um evento B é uma *causa prima facie* de A se, e somente se B vem antes de A e é probabilisticamente relevante para A. Assim, a probabilidade de A dado B é maior que a probabilidade de A dado não B:

$$P(A|B) > P(A|\neg B)$$

2- B é uma *causa espúria* de A se, e somente se ele é uma causa prima facie de A e existe um evento C que compartimenta B de A (screening-off):

$$P(A|B) > P(A).P(B)$$

$$P(A.B|C) = P(A|C) . P(B|C)$$

3- Por fim, B é causa de A se, e somente se for uma causa prima facie de A e não for uma causa espúria.

Assim, Suppes usa a ideia de screening-off como forma de identificar uma causa espúria e eliminá-la.

Na elaboração de sua concepção de assimetria causal, David Papineau irá lançar mão dos distintos elementos discutidos anteriormente. Papineau reconhece a importância do screening-off como ferramenta da teoria probabilística da causação. No entanto, apesar de perceber que a probabilidade é relevante para a causação, ele irá dizer

⁶¹ Ibid., p. 245: “The short-circuit which is said to have caused the fire is thus an indispensable part of a complex sufficient (but not necessary) condition of the fire. In this case, then, the so-called cause is, know to be, an *insufficient* but *necessary* part of a condition which is itself *unnecessary* but *sufficient* for the result. The experts are saying, in effect, that the short-circuit is a condition of this sort, that it occurred, that the other conditions which conjoined with it form a sufficient conditions were also present, and that no other sufficient conditions of the house’s catching fire was present on this occasion. I suggest that when we speak of the cause of some particular event, it is often a condition of this sort that we have in mind.” Tradução nossa.

que existem duas visões possíveis acerca da relação entre probabilidade e causalção: definicional e evidencial. Ele diz:

A maioria dos escritores nessa área parece adotar o que pode ser chamado de visão *definicional*: a visão de que o que faz com que um evento cause outro é justamente o fato de que as relações probabilísticas apropriadas possam ser obtidas entre os eventos desses tipos. Nessa visão, as relações causais são, por assim dizer, *constituídas* por relações probabilísticas, analogamente ao modo como, na antiga visão humeana acerca de conjunções constantes, relações causais foram consideradas como sendo constituídas por relações determinísticas.

Eu tenho uma visão diferente da conexão entre probabilidades e causalidade, uma visão que poderia apropriadamente ser chamada de visão *evidencial*. Na minha opinião, as relações probabilísticas relevantes não constituem as relações causais como tais: ao contrário, elas fornecem evidências indiretas para a existência de conexões causais "subjacentes".⁶²

Papineau acaba por, em detrimento de um ponto de vista de que as relações probabilísticas determinam as relações causais (ponto este adotado fundamentalmente por Reichenbach e Suppes), aderindo à visão de que a relação probabilística necessita das chamadas *background conditions*⁶³ para que o efeito seja gerado.

Para ilustrar a situação, Papineau utiliza como exemplo a frase “fumar causa câncer”. O ato de fumar em si (representado pela letra S) possui uma correlação probabilística com o desenvolvimento de câncer (dado pela letra C). Assim, considerando as *background conditions* (dadas pela letra X), temos:

$$S \wedge X \rightarrow C^{64}$$

Equação 20

⁶² David Papineau, *Causal Asymmetry*, p. 277: “Most writers in this area seem to adopt what might be called a definitional view: the view that what it is for one event to cause another just is for the appropriate probabilistic relationships to obtain between events of those types. On this view causal relationships are, so to speak, constituted by probabilistic relationships, analogously to the way that on the old humean constant conjunct view causal relationships were held to be constituted by deterministic relationships.

I have a different view of the connection between probabilities and causation, a view that could appropriately be called an evidential view. On my view the relevant probabilistic relationships don't constitute the causal relationships as such: rather they provide indirect evidence for the existence of 'underlying' causal connections.” Tradução nossa.

⁶³ Aquilo que Papineau chama de “background conditions” pode ser tido como sendo o conjunto das condições subjacentes à realização de um determinado efeito e que estão alheias à causa, constituindo o contexto em que a relação causal se configura.

⁶⁴ C, nesse caso, é consequência da conjunção entre S e X.

Consideremos agora o fato de a letra “A” representar todo o resto de circunstâncias que acarretem C (como, por exemplo, trabalhar em uma fábrica de telhas de amianto) e que, em disjunção com “S $\wedge$ X”, estabeleça uma relação de necessidade e suficiência em relação a C. Assim, teríamos:

$$(S \wedge X) \vee A \leftrightarrow C$$

Equação 21

Nesse caso, Papineau fornece uma representação formal para que possamos entender S como uma condição INUS de C (conforme a teoria de Mackie defende).

Na sequência, Papineau irá demonstrar que a simples análise de causa como condição INUS de um efeito não é robusta o suficiente para garantir a assimetria causal. A partir da relação acima, temos por *eliminação do bicondicional, silogismo disjuntivo*⁶⁵ e *simplificação* que:

$$C \wedge \neg A \rightarrow S$$

Equação 22

Se considerarmos que o ato de fumar por si só carrega alguns traços (letra T) como, por exemplo, deixar o cabelo e as roupas do fumante com cheiro, temos a seguinte relação:

$$(C \wedge \neg A) \vee T \leftrightarrow S$$

Equação 23

⁶⁵ O silogismo disjuntivo é um argumento da lógica clássica, dada pela seguinte forma:

A ou B.
Não A.
Logo, B.

Se a equação 21 garante que o ato de fumar (S) seja condição INUS de ter câncer (C), por sua vez a equação 23 representa justamente o oposto, ou seja, que C é condição INUS de S. Sendo assim, como já havia sido citado anteriormente, apenas a condição INUS é incapaz de garantir a assimetria causal.

Para solucionar a questão, Papineau propõe que analisemos S como uma causa comum de dois efeitos distintos: desenvolver câncer (C) e possuir dedos amarelos (Y). Os dedos amarelos ocorrem devido a certas *background conditions* “M” como, por exemplo, a falta de higiene com as mãos e também podem estar relacionados a outras causas “N”, como a icterícia. Assim:

$$(S \wedge M) \vee N \leftrightarrow Y$$

Equação 24

Considerando as duas circunstâncias, podemos afirmar que S realiza um screening-off entre os dois efeitos pelo fato de as *background conditions* de cada um dos efeitos C e Y serem independentes. Se, no entanto, tomamos a equação 23 e alguma semelhante utilizando, por exemplo, uma fábrica de telhas de amianto, teremos o câncer como um efeito comum entre os atos de fumar e de trabalhar com amianto, de maneira que não haveria uma independência entre ambas (pois uma maior efetividade do ato de fumar na geração do câncer é necessariamente ligada a uma menor efetividade do ato de trabalhar com amianto). Desta forma, o fato de haver uma causa comum compartimentalizada é o que garante a assimetria causal das condições INUS.

Por fim, após apresentar a sua ideia acerca da assimetria causal, Papineau irá discutir acerca do problema da redução da assimetria causal às assimetrias do mundo físico (como o princípio da Entropia) sem, no entanto, fornecer uma resposta imediata ao problema. Ele diz:

Eu tenho me debruçado sobre esses detalhes da explicação do aumento da entropia e, em particular, da abordagem original de Boltzmann, por causa da analogia próxima que eles me parecem oferecer à minha explicação da assimetria causal. Compare a suposição do caos molecular, a suposição de que moléculas próximas em um gás devem ter velocidades probabilisticamente independentes, com meu apelo à independência probabilística das *background conditions* em conexão com o que causa o ato. Em ambos os casos, a maneira como um determinado sistema evolui para

longe da "cauda" da flecha da assimetria (física, causal) depende da difusão de várias condições desconhecidas. E, em ambos os casos, é precisamente na medida em que essas *background conditions* satisfazem certas condições de independência probabilística, de modo a obtermos um certo desenvolvimento característico, que isso nos faz pensar em processos assimétricos.

Naturalmente, isso é, na melhor das hipóteses, apenas uma analogia. Seria bom mostrar que a assimetria causal e física são realmente ambas as instâncias do mesmo fenômeno. Mas eu não pretendo ter feito isso.⁶⁶

3.3 – As Críticas recebidas pelos programas reducionistas.

Nas décadas seguintes aos trabalhos de Reichenbach, Lewis e outros, surgiram uma série de críticas às proposições que visavam dar um caráter reducionista à causação. Dentre essas críticas, destacam-se especialmente as feitas por Huw Price e Brad Weslake.

Ao tentar identificar o que há em comum nos programas causais reducionistas para construir uma crítica robusta, Price sugere que há em todos eles um elemento que possibilita que seja feita a relação entre causação e aspectos do mundo físico. Esse elemento recebe o nome de *estratégia da terceira seta*. Price diz:

Ao rejeitar a visão de Hume de que a assimetria da relação causal é meramente uma imagem convencional de ordenação anterior-posterior, escritores contemporâneos têm frequentemente sugerido que ela fundamenta-se em alguma assimetria intermediária — em alguma característica temporalmente assimétrica do mundo que é alinhada (normalmente, se não invariavelmente) com a ordenação temporal. Isto é o que vou chamar de *estratégia da terceira seta*. Mais comumente, os defensores desta abordagem argumentam que, quando analisamos a causação, percebemos que nós podemos caracterizar a relação essencial entre uma causa e um efeito em termos físicos — e que a relação física em questão acaba por fixar-se assimetricamente no mundo real. Muitas vezes, o último fato é considerado como algo que apenas acontece no mundo como o conhecemos. Considera-se que é uma assimetria de fato, em vez de exigida pelas leis da física, por exemplo. (...) Avaliando esta abordagem da assimetria causal, então, a

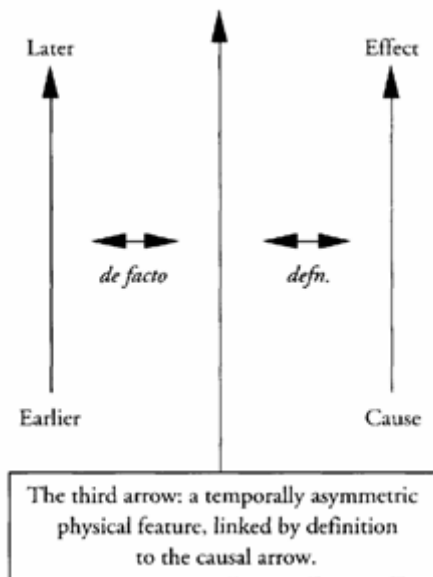
⁶⁶ David Papineau, *Causal Asymmetry*, p. 287: "I have been dwelling on these details of the explanation of entropy increase, and in particular of the original Boltzmann approach, because of the close analogy they seem to me to offer to my explanation of causal asymmetry. Compare the molecular chaos assumption, the assumption that nearby molecules in a gas should have probabilistically independent velocities, with my appeal to the probabilistic independence of the background conditions in connection with which causes act. In both cases the way a given system evolves away from the 'tail' of the arrow of (physical, causal) asymmetry depends on the disposition of various unknown conditions. And in both cases it is precisely in so far as those background conditions satisfy certain probabilistic independence conditions that we get the characteristic development that makes us think of such processes as asymmetric ones.

Of course, this is at best only an analogy. It would be nice to show that causal and physical asymmetry are really both instances of the same phenomenon. But I don't claim to have done this." Tradução nossa. Grifo nosso.

questão essencial é se existe realmente uma assimetria temporal intermediária no mundo desse tipo.⁶⁷

Na figura a seguir, é representado o esquema desenvolvido por Price daquilo que seria a estratégia da terceira seta.

Figura 17 – A estratégia da terceira seta.



Fonte: Huw Price, *Time's arrow and Archimedes point*, p. 139.

Na representação acima podemos perceber que a estratégia da terceira seta consistiria em criar uma terceira seta ligando o mundo físico à causação e que, à partir da mesma, a assimetria causal fosse determinada por assimetrias presentes na própria natureza. O que, portanto, caracterizaria essa terceira seta de forma a fornecer a ela a capacidade de ligar causação à realidade por tal viés? Segundo Price, isso seria garantido devido ao que podemos chamar de *assimetria de garfo*:

⁶⁷ Huw Price, *Time's arrow and Archimedes point*, p. 138: "In rejecting the Humean view that the asymmetry of the causal relation is merely a conventional image of earlier-later ordering, contemporary writers have often suggested that it rests on some intermediate asymmetry—on some temporally asymmetric feature of the world which is itself aligned (typically, if not invariably) with the temporal ordering. This is what I shall call the *third arrow strategy*. Most commonly, advocates of this approach argue that when we analyze causation we find that we can characterize the essential relationship between a cause and an effect in physical terms—and that the physical relationship concerned turns out to hold asymmetrically in the real world. Often the latter fact is held to be one that just happens to hold in the world as we know it. It is held to be a *de facto* asymmetry, rather than one required by the laws of physics, for example. (...). In assessing this approach to causal asymmetry, then, the essential question is whether there is actually an intermediate temporal asymmetry in the world of the required sort." Tradução nossa. Grifo do autor.

É o que se tornou conhecido como a *assimetria de garfo*: o fato de que correlações regulares entre eventos espacialmente separados comumente acabam sendo associadas a correlações conjuntas com algum evento anterior, mas raramente, ou nunca, com um evento posterior. Mais formalmente, quando uma dependência probabilística entre os eventos A e B separados é filtrada pela ocorrência de um terceiro, este evento de triagem está localizado no passado comum de A e B, não em seu futuro comum: encontramos “garfos abertos direcionados para o futuro” no mundo, mas não garfos abertos direcionados para o passado.

Em linhas gerais, a sugestão é que a assimetria de causa e efeito seja explicada em termos da predominância de garfos direcionados para o futuro no mundo.⁶⁸

Considerando que a assimetria de garfo é o elemento de redução da causação às propriedades do mundo físico, é importante que a mesma seja definida de forma prévia, sem referência direta à causação. Entretanto, tendo sido estabelecida a relação entre a assimetria de garfo e a causação, é possível que seja gerada uma espécie de “simbiose” de ambas:

Uma vez que a conexão entre a assimetria do garfo e a causalidade tenha sido desenhada, pode ser conveniente formular a assimetria do garfo em termos de causação. Assim, o princípio da causa comum de Reichenbach afirma que coincidências improváveis estão sempre associadas a uma causa comum anterior. Para os propósitos da estratégia da terceira seta, no entanto, é importante que a ordem de apresentação seja como acima. Deve haver uma assimetria estatística prévia no mundo, caracterizável em termos não-causais, em termos dos quais a causalidade pode então ser definida.⁶⁹

Após termos em mente o diagnóstico que Price faz da existência tanto da assimetria de garfo quanto da estratégia da terceira seta, devemos pensar naquilo que cada autor usa especificamente como sendo o elemento ontológico que representa a assimetria de garfo. Reichenbach, por exemplo, usa a probabilidade e o screening-off para chegar ao princípio da causa comum. Já David Lewis usa a sobredeterminação do passado pelo futuro. Sendo assim, trabalharemos oportunamente as críticas que são erguidas acerca das duas linhas de pensamento.

⁶⁸ Huw Price, *Agency and causal asymmetry*, p. 502: “It is what has become known as the fork asymmetry: the fact that regular correlations between spatially separated events commonly turn out to be associated with joint correlations with some earlier event, but rarely, if ever, with a later event. More formally, when a probabilistic dependence between separated events A and B is screened off by the occurrence of a third, this screening event is found to lie in the common past of A and B, not in their common future: we find “future-directed open forks” in the world, but not past-directed open forks.

In outline, the suggestion is thus that the asymmetry of cause and effect is to be explained in terms of the predominance of future-directed forks in the world.” Tradução nossa. Grifo do autor.

⁶⁹ Huw Price, *Time’s arrow and Archimedes point*, p. 140: “Once the connection between the fork asymmetry and causation has been drawn, it may be convenient to formulate the fork asymmetry itself in terms of causation. Thus Reichenbach’s principle of the common cause states that improbable coincidences are always associated with an earlier common cause. For the purposes of the third arrow strategy, however, it is important that the order of presentation be as above. There must be a prior statistical asymmetry in the world, characterizable in noncausal terms, in terms of which causation may then be defined.” Tradução nossa.

O primeiro ponto levantado por Price, que consiste na crítica mais robusta erguida contra as propostas reducionistas em geral, consiste em levantar um certo ceticismo em relação à existência da assimetria de garfo na própria natureza. Price diz:

Eu quero argumentar que as teorias desse tipo se deparam com o mesmo problema: grosso modo, não há garfos assimétricos suficientes para serem distribuídos. A assimetria do garfo não fornece assimetria real suficiente no mundo para traçar a linha entre causa e efeito onde ela precisa ser desenhada. Existem duas razões principais para isso. O mais importante é que, na medida em que há uma assimetria estatística desse tipo no mundo, é um caso macroscópico, dependendo do comportamento coordenado de um grande número de componentes microscópicos. Mas,(...) os próprios processos componentes parecem ser simétricos nos aspectos relevantes; Parece não haver assimetria bifurcada na microfísica. (...) A simetria microfísica não é o único problema para a tentativa de forjar uma terceira flecha a partir da assimetria do garfo. Mesmo no domínio familiar dos objetos e processos macroscópicos, muitas causas comuns são simplesmente muito raras, insignificantes demais ou ambas, para dar origem a correlações reais entre seus efeitos conjuntos. Nós só encontramos correlações quando as causas em questão são suficientemente grandes e frequentes para que seus efeitos se destaquem contra o ruído de fundo, e muitas vezes isso simplesmente não é o caso.⁷⁰

A crítica de Price enfatiza, inicialmente, três pontos fundamentais. O primeiro deles, e mais importante, diz basicamente o seguinte: dado que a assimetria da causação é redutível à probabilidade, e a mesma é consequência de resultados provenientes de um número muito grande de corpos, de forma que a relevância individual de cada um deles para a determinação da assimetria causal é nula, o que determina portanto a assimetria causal nas interações particulares de cada um desses corpos? Em outras palavras, se a assimetria causal é determinada macroscopicamente, o que podemos dizer acerca da causação na microfísica? O segundo ponto consiste em afirmar que atribuir todos os processos causais à busca pela causa comum seria uma forma de restringi-los, devido ao fato de a existência de causas comuns na natureza ser uma existência restrita. O

⁷⁰ Ibid., p. 140 e 141: "I want to argue that accounts of this kind all run into the same problem: roughly speaking, there aren't enough asymmetric forks to go around. The fork asymmetry doesn't provide enough actual asymmetry in the world to draw the line between cause and effect where it needs to be drawn. There are two main reasons for this. The more important one is that to the extent to which there is a statistical asymmetry of this kind in the world, it is a macroscopic affair, depending on the coordinated behavior of huge numbers of microscopic components. But(...), the component processes themselves seem to be symmetric in the relevant respects; there seems to be no fork asymmetry in microphysics.(...) Microphysical symmetry is not the only problem for the attempt to forge a third arrow from the fork asymmetry, however. Even in the familiar realm of macroscopic objects and processes, many common causes are simply too infrequent, too insignificant, or both, to give rise to actual correlations between their joint effects. We only find correlations when the causes in question are big enough and frequent enough for their effects to stand out against the background "noise," and often this simply isn't the case." Tradução nossa.

terceiro⁷¹ consiste em trazer novamente à tona a *objeção da reversibilidade* (já abordada anteriormente).

Para além do levantamento do problema em relação à causação em escala microfísica, Price expõe um elemento importante acerca da abertura das bifurcações conjuntivas apenas na direção do futuro. Na visão de Price, isso consiste em uma espécie de convencionalismo disfarçado. Na visão do autor, por mais que não sejamos livres para mudar o passado, o simples fato de assumir o caráter fixo do passado consiste em um convencionalismo de ordem antropomórfica. Para exemplificar, Price trata de uma circunstância em que uma espécie de percepção e preferência divina estabelece uma bifurcação conjuntiva cujo vértice está no futuro. Ele diz:

Considere, por exemplo, a perspectiva disponível a Deus, enquanto ela pondera possíveis histórias para o universo. Como todos nós sabemos, Deus pode originalmente ter uma preferência por um mundo no qual o início do Terceiro Milênio em janeiro de 2001 é marcado de maneira espetacular pela ocorrência de muitos milhões de pequenos incêndios ao redor do mundo. Entre as possíveis histórias do mundo estão algumas em que o número de incêndios individualmente acidentais naquele tempo é várias ordens de grandeza maior do que o normal. Nessas histórias, há muito mais conjunções "acidentais" de combustíveis, oxigênio e fontes de ignição, exatamente antes da data prevista, do que normalmente esperaríamos (refletindo o fato de que combustíveis e oxigênio estão entre as causas comuns dos incêndios). Ao optar por tal história sobre os outros, Deus teria aumentado a frequência de um efeito comum - a saber, o fogo - e, portanto, produziu uma correlação entre suas causas conjuntas.⁷²

O trecho acima deixa um importante elemento subjacente: O fato de que Price, ao erguer a sua crítica contra as perspectivas reducionistas, parece tentar abrir caminho a uma concepção diferente de causação daquilo que Reichenbach e Lewis apresentam⁷³.

⁷¹ A objeção da reversibilidade foi abordada na seção do segundo capítulo dedicada a Hans Reichenbach através do Paradoxo de Loschmidt. Como o paradoxo já foi abordado anteriormente, não daremos ênfase ao mesmo na crítica, mas abordaremos posteriormente a forma como abordagens recentes pretenderam resolvê-lo de forma definitiva.

⁷² Huw Price, *Time's arrow and Archimedes point*, p. 140 e 141: "Consider, for example, the perspective available to God, as She ponders possible histories for the universe. For all we presently know, God may have originally had a preference for a world in which the beginning of the Third Millennium in January 2001 is marked in spectacular fashion by the occurrence of many millions of tiny fires around the globe. Among the possible histories of the world are some in which the number of individually accidental fires at that time is several orders of magnitude higher than normal. In those histories there are simply many more "accidental" conjunctions of combustibles, oxygen, and sources of ignition just prior to the given date than we would normally expect (reflecting the fact that combustibles and oxygen are among the joint causes of fires). In opting for such a history over others, God would have increased the frequency of a common effect—namely fire—and hence produced a correlation between its joint causes." Tradução nossa.

⁷³ Huw Price defende uma ideia denominada Teoria Causal Agencial. A teoria de Price parte de uma perspectiva projectivista e antropomórfica em que a ideia de causa é concebida como uma espécie de extensão da ação humana. Segundo tal perspectiva, causação não é algo passível de ser reduzido a alguma coisa existente na natureza, mas apenas um produto da inferência humana acerca da própria natureza.

A supracitada crítica de Price possui um eco na análise de Brad Weslake acerca do princípio da causa comum de Reichenbach. A crítica de Weslake se somará à de Price trazendo um potente elemento de análise retirado de dentro da própria física.

O ponto levantado por Weslake em objeção às abordagens de Reichenbach e Papineau por exemplo ocorre fundamentalmente em dois pontos fundamentais. O primeiro é dado por aquilo que ele chama de a *verticalização da causação*. O segundo consiste em analisar uma consequência do conhecido paradoxo EPR⁷⁴ para o princípio da causa comum.

A verticalização da causação que é observada por Weslake faz um paralelo com aquilo que Price já havia observado anteriormente. Para Weslake, o princípio da causa comum gera uma tensão entre a forma como a causação ocorre macroscopicamente e a forma como ela ocorre microscopicamente. Nesse ponto, parece não haver novidade alguma na apresentação da crítica.

A questão mais relevante levantada por Brad Weslake contra o princípio da causa comum consiste em analisar o experimento mental que desemboca no paradoxo EPR. Para tal, Weslake analisa inicialmente uma situação colocada pelo próprio Reichenbach. Weslake diz:

Para modificar um exemplo de Reichenbach (p. 158), suponha que dois gêiseres próximos (A e B) borbulham irregularmente, mas (quase sempre) em uníssono - e suponha que algum entusiasta de gêiser esteja por perto, registrando cada jato duplo com um risco em seu caderno (D) (...). O (...) risco, que é o evento screening off, ocorre mais tarde do que os gêiseres correlacionados, que são os eventos selecionados (A e B). Os eventos são ditos, no jargão, constituintes de uma bifurcação conjunta aberta ao passado. Reichenbach é assim levado a expandir o princípio, afirmando que os garfos conjuntivos abertos ao passado são sempre correspondidos por garfos conjuntivos abertos para o futuro, enquanto garfos de junção abertos para o futuro não são igualados. Aqui, por exemplo, o evento que estabelece o garfo aberto para o futuro seria o aumento da pressão da água no reservatório responsável pelos jatos dos gêiseres (C). Reichenbach refere-se a casos em que os eventos correlacionados são filtrados em ambas as extremidades temporais como duplos garfos (p. 159); eles também são chamados de garfos

⁷⁴ A sigla EPR que dá nome ao paradoxo provém das iniciais de Einstein, Podolsky e Rosen. O paradoxo consiste no seguinte: A Interpretação de Copenhague para a mecânica quântica prevê que quando duas partículas provenientes de um decaimento radioativo e que possuam propriedades ligadas, a realização de uma medida acerca de alguma propriedade de uma delas colapsa o emaranhamento quântico, de forma que é determinada, instantaneamente e independentemente da distância entre elas, a mesma propriedade da outra partícula. Trata-se de um paradoxo pois, conforme foi observado no artigo publicado por Einstein *et al.* em 1935, o fenômeno violaria a teoria da relatividade ao propor uma transmissão de informação viajando a uma velocidade maior do que a da luz. Uma solução para o paradoxo, proposta no próprio artigo, foi incluir as chamadas “variáveis ocultas” na análise. Essa solução foi posteriormente rejeitada pelo “Teorema de Bell” que propunha, em seu lugar, uma distinção absoluta entre mecânica quântica e mecânica clássica. Posteriormente o Teorema de Bell acabou sendo aceito e comprovado.

fechados. O princípio da causa comum torna-se assim: todos os garfos abertos estão abertos para o futuro.⁷⁵

A situação dos geysers permite que seja estabelecida uma causa comum aos jatos simultâneos dos dois gêisers. Entretanto, se usarmos no lugar dos gêisers duas partículas com propriedades ligadas, a situação se altera significativamente:

Lembre-se do entusiasta dos gêiseres da Seção II, que, ao registrar os jatos de gêiseres correlacionados, criou futuros eventos de triagem; e lembre-se da alegação de Reichenbach de que este não é um caso de causação reversa, desde que exista um evento de triagem correspondente no passado. Agora, suponha que nosso entusiasta de gêiser se torne um entusiasta de EPR, registrando em seu caderno os resultados de medição de uma série de experimentos de EPR. Aqui temos um conjunto de eventos futuros de rastreamento, como no caso de gêiseres. Mas, no caso do EPR, o Teorema de Bell exclui a existência de qualquer evento de triagem anterior (as chamadas variáveis ocultas) com o qual se fecha a bifurcação e, por isso, temos um caso *prima facie* de garfos abertos ao passado. Se tais casos (para as correlações de EPR serem registradas o tempo todo) de fato fornecerem garfos abertos ao passado, então temos um conjunto de contraexemplos claros para o princípio da causa comum.⁷⁶

Os pontos tratados por Price e Weslake representam, como foi mostrado anteriormente, fortes críticas ao princípio da causa comum. No entanto, Price também dedica um momento de sua crítica especificamente para a teoria contrafactual de David Lewis.

Ao analisar a teoria contrafactual de David Lewis, Price diz que a diferença entre a teoria contrafactual e aquelas que possuem um viés probabilístico (Reichenbach et al.) é o fato de que as outras recorrem diretamente à assimetria de garfo, enquanto a teoria de Lewis insere uma outra seta na história. Essa seta, nomeada por Price de

⁷⁵ Brad Weslake, *Common Causes and the Direction of Causation*, p. 6: “To modify an example from Reichenbach (p. 158), suppose two nearby geysers (A and B) spout irregularly, but (nearly always) in unison—and suppose some geyser-enthusiast sits nearby, recording every dual spout with a tick in her notebook (D) (...). The (...) tick, which is the screening off event, occurs later than the correlated geysers, which are the events screened off (A and B). The events are said, in the jargon, to constitute a conjunctive fork open to the past. Reichenbach is thus led to expand on the principle, by claiming that conjunctive forks open to the past are always matched by conjunctive forks open to the future, while conjunctive forks open to the future are not likewise matched. Here, for example, the event establishing the fork open to the future would be the increased water pressure in the reservoir responsible for the geyser spouts (C). Reichenbach refers to cases where correlated events are screened off on both temporal ends as double forks (p. 159); they are also sometimes called closed forks. The common cause principle thus becomes: all open forks are open to the future.” Tradução nossa.

⁷⁶ Ibid., p. 15: “Recall the geyser-enthusiast from Section II, who by recording correlated geyser spouts created future screening-off events; and recall Reichenbach’s claim that this is not a case of backwards causation so long as there exists a corresponding screening-off event in the past. Now, suppose that our geyser-enthusiast becomes an EPR enthusiast, recording in her notebook the measurement outcomes from a series of EPR experiments. Here we have a set of future screening off events, as in the geyser case. But in the EPR case, Bell’s Theorem rules out the existence of any past screening off event (so-called hidden variables) with which to close the fork, and so we have a *prima facie* case of forks open to the past. If such cases (for EPR correlations are recorded all the time) in fact provide forks open to the past, then we have a set of clear counterexamples to the principle of the common cause.” Tradução nossa.

“quarta seta”, ficaria entre a assimetria de garfo (terceira seta) e a seta da assimetria causal. Ao gerar essa quarta seta, Lewis estaria apenas maquiando os problemas derivados da assimetria de garfo, transferindo-os para essa quarta seta. Essa estratégia, para Price, não resolve nada pois apenas desloca o problema de lugar sem de fato encontrar uma solução para ele. Sendo assim, os problemas concernentes à questão da assimetria causal na microfísica, gerados pela assimetria de garfo, permanecem. Price diz:

Como Lewis enfatiza, no entanto, sua sugestão não explica imediatamente a assimetria causal. Ele simplesmente transfere o problema de um lugar para outro. Para explicar a assimetria causal, precisamos agora explicar a assimetria da dependência contrafactual. Lewis tenta fazer isso em termos do que ele chama de assimetria de sobredeterminação - uma característica do mundo intimamente relacionada à assimetria do garfo. Com efeito, então, Lewis interpõe uma quarta flecha, uma assimetria de dependência contrafactual, entre a flecha de causalidade e a flecha constituída pela assimetria do garfo. Ele mesmo não está buscando colocar o peso da assimetria causal nessa quarta flecha. Seu papel é simplesmente transferir o peso de um lugar para outro.⁷⁷

Ao atentar-se para a questão da assimetria da sobredeterminação, Price irá centrar boa parte de seus esforços na questão da assimetria da radiação. Para tal, inicialmente, Price aborda o exemplo utilizado por Popper e apropriado por Lewis na tentativa de caracterizar de forma definitiva a assimetria da sobredeterminação:

Popper (1956) usa o exemplo de uma pedra lançada em um lago tranquilo, que produz ondas concêntricas de saída na superfície da água. Ele ressalta que, embora essa ocorrência seja comum, nunca observamos o processo inverso, no qual as ondas concêntricas de entrada chegam ao centro de uma lagoa no momento exato para expelir uma pedra. O último caso é compatível com as leis da mecânica, que são simétricas no tempo; mas isso nunca acontece. Popper conclui que a radiação exhibe, assim, uma assimetria temporal de fato, e argumenta que essa assimetria não é redutível à assimetria da termodinâmica.⁷⁸

⁷⁷ Huw Price, *Time's arrow and Archimedes point*, p. 147: “As Lewis emphasizes, however, his suggestion doesn't immediately explain causal asymmetry. It simply shifts the problem from one place to another. To explain the causal asymmetry we now need to explain the asymmetry of counterfactual dependence. Lewis triesto do this in terms of what he calls the asymmetry of overdetermination—a feature of the world closely related to the fork asymmetry. In effect, then, Lewis interposes a fourth arrow, an asymmetry of counterfactual dependence, between the arrow of causation and the arrow constituted by the fork asymmetry. He himself is not seeking to put the weight of the account of causal asymmetry on this fourth arrow. Its role is simply to transfer the burden from one place to another.” Tradução nossa.

⁷⁸ Huw Price, *Agency and causal asymmetry*, p. 504: “Popper (1956) uses the example of a stone thrown into a still pond, wich produces outgoing concentric waves on the water's surface. He points out that although this sort of occurence is commonplace, we never observe the reverse process, in which incoming concentric waves arrive at the centre of a pond at just the right moment to expel a stone. The later case is compatible with the laws of mechanics, which are time symmetric; but it never happens. Popper concludes that radiation thus exhibits a de facto temporal asymmetry, and argues that this asymmetry is not reducible to that of thermodynamics.” Tradução nossa.

Para Price, no entanto, o exemplo das ondas concêntricas desconsidera as condições no mundo em que tais fenômenos ocorrem. Estamos situados em uma região no espaço-tempo de desequilíbrio termodinâmico e é justamente isso que faz com que as ondas concêntricas possuam o tipo de comportamento descrito por Popper. A pedra que cai no lago seria, portanto, uma espécie de causa comum ao movimento concêntrico das ondas na água. A assimetria da radiação é, portanto, uma circunstância que evidencia a assimetria do desequilíbrio termodinâmico:

Como muitos outros contribuintes para este debate, no entanto, Popper falha em reconhecer a importância das condições da borda neste argumento e suas conexões com a termodinâmica. A razão pela qual as ondas de saída são comuns é que as condições iniciais que dão origem a elas são comuns. Objetos sólidos são frequentemente colocados no universo em que eles caem em lagoas. E isso só pode acontecer porque nossas regiões do universo não estão em estado de equilíbrio termodinâmico. Se considerarmos um sistema fechado que atingiu o equilíbrio termodinâmico, então as pedras voadoras que chegam serão tão improváveis quanto as pedras voadoras que saem. Cada um só poderia ocorrer como resultado de uma flutuação quântica incrivelmente improvável, e as superfícies das lagoas serão perturbadas em qualquer sentido temporal por bilhões de anos no tempo.

Em outras palavras, a assimetria temporal aparente da radiação depende da termodinâmica. Precisamos de desequilíbrio termodinâmico para gerar as condições que fazem com que a radiação pareça assimétrica no tempo. A assimetria depende do fato de termos grandes distúrbios (como pedras voadoras) nas condições iniciais, mas não nas condições finais. Quando não há grandes perturbações nas duas extremidades, a situação é inteiramente simétrica.⁷⁹

O exemplo da assimetria da radiação, se associado à questão do desequilíbrio termodinâmico, torna-se automaticamente dependente da entropia. Sabendo que a entropia é um fenômeno fundamentalmente macroscópico, depreende-se que a assimetria da radiação também o será:

Assim, no caso da radiação - o caso que Lewis nos oferece como o exemplo paradigmático da sobredeterminação do passado pelo futuro - a assimetria depende de haver grandes perturbações como a fonte da radiação. Isso

⁷⁹ Ibid., p. 504 e 505: "Like many others contributors to this debate, however, Popper fails to recognize the importance of the boundary conditions in this argument, and their connections with thermodynamics. The reason that outgoing waves are common is that the initial conditions that give rise to them are common. Solid objects are often so placed in the universe that they fall into ponds. And this can only be the case because our regions of the universe is not in a state of thermodynamic equilibrium. If we consider a closed system which has reached thermodynamic equilibrium, then incoming flying stones will be just as unlikely as outgoing flying stones. Each could only occur as result of an incredibly unlikely quantum fluctuation, and pond surfaces will be disturbed in either temporal sense for billions of years at time.

In other words the apparent temporal asymmetry of radiation depends on that of thermodynamics. We need thermodynamic disequilibrium in order to generate the conditions that make radiation appear to be asymmetric in time. The asymmetry depends on the fact that we have big disturbances (such as flying stones) in the initial conditions but not in the final conditions. When there are no big disturbances at either end, the situation is entirely symmetric." Tradução nossa.

significa que esta é uma assimetria essencialmente macroscópica. Depende de desequilíbrios estruturais de grande escala. Abaixo no micronível, ele não será mais visível.⁸⁰

O que podemos inferir é que, se a assimetria da radiação caracteriza de fato a assimetria da sobre-determinação, esta possui o seu escopo associado ao universo macroscópico, deixando o âmbito microscópico totalmente desguarnecido. Assim, conforme Price e Weslake mostraram, o escopo de ação das teorias reducionistas abordadas parece estar restrito ao âmbito da causação macroscópica. Isso, para Price, é um problema sério pois para ele as nossas intuições no que tange ao estabelecimento de relações causais, em um nível microfísico, são igualmente robustas àquelas que mobilizamos em um nível macrofísico. Essa poderosa crítica deixa alguma saída relevante para as concepções reducionistas? É o que veremos na sequência.

3.4 – Causação fundamentalmente macroscópica: Uma saída?

O debate contemporâneo acerca da assimetria causal segue a partir das críticas levantadas sobre os programas de Reichenbach e Lewis. Como vimos anteriormente, a relevância fundamental da crítica que é feita sobre tais programas se dá no âmbito do escopo de cada um dos programas. Price e Weslake sinalizam que as abordagens reducionistas possuem um problema de escopo: elas estão restritas ao universo macrofísico e não abordam a causação microfísica. Antes de seguirmos para o ponto onde desemboca o debate, trataremos brevemente dessa distinção de escopos macro e micro.

3.4.1 – A complexa distinção macro x micro.

Dado que a crítica aos programas reducionistas se dá em termos da efetividade desses programas no âmbito microfísico, é necessário que tratemos da distinção macro e micro no âmbito da Física.

⁸⁰ Ibid., p. 505: “Thus in the case of radiation – the case that Lewis offers us as the paradigm example of overdetermination of the past by the future – the asymmetry depends on there being big disturbances as the source of the radiation. This means that it is an essentially macroscopic asymmetry. It depends on large scale structural imbalances. Down at the microlevel, it will no longer be visible.” Tradução nossa.

Para exemplificar a relevância e a dificuldade existente nesse tipo de distinção, vamos pensar em grãos de areia. Um *grão de areia* é um objeto de proporções minúsculas se comparado ao corpo humano, sendo geralmente menor que 1 mm^3 . Se colocarmos mais um grão unido ao primeiro grão em um piso, teremos dois grãos, cada qual com suas características. Colocando um terceiro, um quarto e um quinto grãos, percebemos que olhar para as características individuais de cada grão vai se tornando uma tarefa difícil até que, de tanto juntarmos grãos, isso torna-se impossível. Nessa situação, em que as características individuais de cada grão se perdem em meio à quantidade de grãos acumulados, temos aquilo que podemos chamar de *monte de areia*. O grão de areia seria a concepção microfísica, já o monte seria a concepção macrofísica. Entretanto, foi o processo de juntar grãos de areia individuais que deu origem ao que chamamos de monte de areia. Sendo assim, podemos ser levados a pensar que a partir de um grão específico que foi colocado no conjunto é que aquilo se tornou o monte de areia. Qual seria esse grão afinal?

Uma outra forma de exemplificarmos a distinção é a partir da análise de sociedades. Se tomarmos uma pessoa (por exemplo, eu), veremos que ela possui características específicas que constituem a sua individualidade. Colocando outra pessoa em contato, perceberemos as diferenças entre ambas. Se assim fizermos até que o grupo de pessoas seja suficientemente grande, teremos uma circunstância em que as propriedades do conjunto se sobressaem mais do que as propriedades individuais de cada pessoa. Esta é, portanto, uma outra forma de transição do micro ao macro.

Como nos foi apresentado nos dois exemplos anteriores, a transição do micro ao macro não carrega consigo apenas um mero aspecto numérico, mas demanda também uma mudança na forma de olhar os objetos. Olhar para as características de um monte de areia é muito diferente de observar as propriedades de cada grão de areia.

Essa diferença existente na forma de olhar os objetos em uma transição do micro ao macro acarreta, portanto, uma diferenciação entre os princípios e as leis que estão sendo envolvidas na análise. No caso da sociedade, por exemplo, uma marca da mudança na forma de olhar é uma mudança na ciência que é mobilizada para se fazer a análise: Quando temos apenas as características individuais de cada pessoa, a psicologia torna-se a ciência mais relevante, enquanto uma análise do todo demanda que entre em cena a sociologia. Há aí uma clara distinção dos tipos de princípios e leis que são usados. Na literatura contemporânea existe um interessante exemplo disso: Em sua

Série da Fundação o escritor russo-americano Isaac Asimov desenvolve uma ciência denominada psico-história (uma mistura de matemática e sociologia) que seria usada para se fazer previsões probabilísticas acerca da população (na ordem de quintilhões de pessoas) do chamado Império Galático. Essa análise da população do Império Galático por meio da psico-história só é possível devido à enorme quantidade de pessoas ali existentes. Certamente a psico-história não funcionaria para sociedades com um número menor de pessoas.

O que podemos perceber acerca da distinção macro e micro é que, embora tal distinção exista, os seus marcadores possuem um fundamento mais epistemológico que ontológico. E o que isso significa? Isso significa que a distinção entre macro e micro parece fazer mais sentido no âmbito da nossa compreensão da realidade do que da própria realidade. Os exemplos do monte de areia e da psico-história traduzem isso: quando temos uma relação envolvendo apenas nomes e propriedades, a passagem do micro ao macro se torna mais complexa do que quando temos, por exemplo, uma ciência explicando fenômenos de ordem macro e distinguindo-os de fenômenos de ordem micro.

No nosso caso, a distinção macro e micro reside no âmbito daquilo que foi abordado nos capítulos anteriores e envolve choques mecânicos a nível micro e fenômenos irreversíveis a nível macro. O problema dessa distinção é que, conforme já havia sido abordado no capítulo II através do paradoxo de Loschmidt, o âmbito microscópico é simétrico e o âmbito macroscópico é assimétrico (em termos temporais). Apresentamos, no capítulo anterior, uma tentativa de solução para a questão dada por Paul Horwich. Apresentaremos agora a visão do Físico Joel Lebowitz sobre a questão:

Ingredientes interrelacionados (...) oferecem a distinção necessária entre variáveis microscópica e macroscópica e explicam o surgimento de um definido comportamento temporalmente assimétrico na evolução da última (...). São eles: a) a grande disparidade entre escalas microscópica e macroscópica, b) o fato de que os eventos que observamos em nosso mundo são determinados não só pela dinâmica microscópica, mas também pelas condições iniciais do nosso sistema que (...) estão muito relacionadas com as condições iniciais do nosso universo, e c) o fato de que não são todos os estados microscópicos de um sistema macroscópico que evoluirão de acordo com o aumento de entropia previsto pela segunda lei, mas apenas a "maioria" de tais estados - maioria esta que se torna tão grande quando o número de átomos no sistema aumenta muito que o comportamento irreversível torna-se uma certeza.⁸¹

⁸¹ Lebowitz, *From Time-symmetric Microscopic Dynamics to Time-asymmetric Macroscopic Behavior: An Overview*, p. 3: "...interrelated ingredients ... provide the required distinction between microscopic and macroscopic variables and explain the emergence of definite time asymmetric behavior in the evolution of

Lebowitz atribui a distinção entre fenômenos microscópicos e macroscópicos a três elementos fundamentais: disparidade de escalas, condições iniciais do sistema (ou universo) e probabilidade. Respondendo uma questão proposta no capítulo II, a aposta de Lebowitz significaria, portanto, que na circunstância de equilíbrio entrópico (que também chamaremos de *sopão*), não haveria mais a distinção de assimetria entre as escalas. Nesse sentido, o peso dado às condições iniciais por Lebowitz se assemelha àquele que é dado por Feymann, como já abordamos anteriormente.⁸²

3.4.2 – *Propostas reducionistas de solução para a questão – a causação macroscópica*

Os problemas que foram detectados nas abordagens reducionistas acabaram por fazer com que surgissem tentativas de se resolver a esses impasses. Veremos como essas tentativas podem contribuir conjuntamente para se construir uma perspectiva que, embora seja passível de críticas, possa trazer alguma luz para as abordagens reducionistas.

A primeira tentativa de se resolver os problemas das abordagens reducionistas consiste numa perspectiva tripla, adotada por David Albert, Barry Loewer e Douglas Kutach (Nomeada de abordagem AKL). Basicamente, o que essa abordagem faz é usar o conceito de *Mentaculus* para se explicar a assimetria da dependência contrafactual. Em que consiste, portanto, o conceito de *Mentaculus*?

Em seu livro *Time and chance* (2000), o filósofo David Albert apresentou um conjunto de três ingredientes necessários para se conectar tudo aquilo que é relevante no âmbito macroscópico (causação, probabilidade, irreversibilidade e a seta do tempo) à física fundamental. Albert diz:

A engenhoca estatístico-mecânica newtoniana para fazer inferências sobre o mundo consiste em três leis e um fato contingente empírico. O fato empírico é aquele sobre o que a macro condição do mundo atualmente é (...), e as leis são:

the latter (...). They are: a) the great disparity between microscopic and macroscopic scales, b) the fact that the events we observe in our world are determined not only by the microscopic dynamics, but also by the initial conditions of our system, which (...) are very much related to the initial conditions of our universe, and c) the fact that it is not every microscopic state of a macroscopic system that will evolve in accordance with the entropy increase predicted by the second law, but only the “majority” of such states—a majority which however becomes so overwhelming when the number of atoms in the system becomes very large that irreversible behavior becomes effectively a certainty.” Tradução nossa.

⁸² Ver nota 26.

1. A lei newtoniana do movimento (que é $F = ma$).
2. A Hipótese do Passado (que é aquela na qual a ideia de que o mundo surgiu pela primeira vez em algum tipo de macro condição altamente condensada de baixa entropia, é a que os procedimentos inferenciais normais da cosmologia eventualmente nos apresentarão).
3. O Postulado Estatístico (que é aquele no qual a distribuição de probabilidade correta a ser usada para fazer inferências sobre o passado e o futuro é aquela que é uniforme, na medida padrão, sobre as regiões do espaço de fase que são compatíveis com qualquer outra informação – seja sob a forma de leis ou na forma de fatos empíricos contingentes – que possamos vir a ter).⁸³

O filósofo Barry Loewer interpreta cada uma das três leis acima, sucessivamente, da seguinte forma:

1. As leis dinâmicas fundamentais que descrevem a evolução dos microestados fundamentais do universo (e os microestados fundamentais de um subsistema isolado).
2. uma especificação de uma condição de contorno que caracteriza o estado macro do universo no momento do Big Bang $M(0)$; aka "a hipótese do passado" (PH). De acordo com a cosmologia contemporânea, Albert postula que $M(0)$ é um estado cuja entropia é muito pequena.
3. Uma distribuição de probabilidade uniforme sobre os microestados fisicamente possíveis que configuram $M(0)$.⁸⁴

Podemos perceber que essa interpretação coincide muito com aquela apresentada por Lebowitz acerca da evolução de microestados e macroestados. Um elemento fundamental de caracterização de tal visão é a consideração das condições iniciais do universo no desenvolvimento do mesmo. Assim, se o universo já surgisse na condição

⁸³ Albert, *Time and Chance*, p. 96: “The Newtonian statistical-mechanical contraption for making inferences about the world consists, in its entirety, of three laws and one contingent empirical fact. The empirical fact is the one about what the macrocondition of the world currently happens to be (...), and the laws are:

1. The Newtonian law of motion (which is that $F = ma$).
2. The Past-Hypothesis (which is that the world first came into being in whatever particular low-entropy highly condensed big-bang sort of macrocondition it is that the normal inferential procedures of cosmology will eventually present to us).
3. The Statistical Postulate (which is that the right probability distribution to use for making inferences about the past and the future is the one that’s uniform, on the standard measure, over those regions of phase space which are compatible with whatever other information—either in the form of laws or in the form of contingent empirical facts—we happen to have).” Tradução nossa

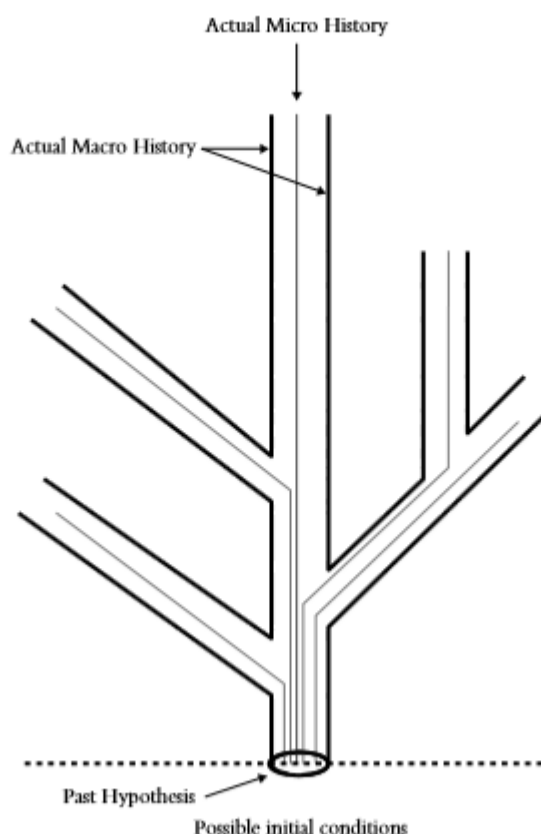
⁸⁴ Loewer, *The Mentaculus vision*:

- “1. The fundamental dynamical laws that describe the evolution of the fundamental microstates of the universe (and the fundamental microstates of an isolated sub- system).
2. a specification of a boundary condition characterizing the universe’s macro state at the time of the Big Bang $M(0)$; aka “the Past Hypothesis” (PH). In agreement with contemporary cosmology Albert posits that $M(0)$ is a state whose entropy is very small.
3. A uniform probability distribution over the physically possible microstates that realize $M(0)$.” Tradução nossa.

de sopão, provavelmente não teríamos as características que temos em um domínio macroscópico. Essas condições iniciais recebem o nome de PH (*Past Hypothesis* ou *Feymann's Hypothesis*). Posteriormente, Barry Loewer acabou por nomear essa abordagem acerca da evolução probabilística dos microestados de *Mentaculus*⁸⁵

Em que o *Mentaculus* serve, portanto, para explicar a assimetria de dependência contrafactual? Albert e Loewer trabalham com uma ideia denominada de alças causais (Albert, 2001, p. 128), que seriam pequenas mudanças locais ocorridas no mundo. Dado que a PH fixa o passado, pequenas mudanças locais causariam mutações muito mais diversificadas no futuro do que no passado.

Figura 18 – Uma representação imagética da história do mundo a partir de PH



Fonte: Barry Loewer, *Counterfactuals and the Second Law*, p. 301.

⁸⁵ O conceito de *Mentaculus* aparece, pela primeira vez, no filme “A serious man” dos irmãos Coen. No filme, o irmão mais velho do protagonista possui um caderno cheio de anotações denominado *Mentaculus*. Esse caderno é definido pelo próprio filme como sendo um *mapa probabilístico do universo* e era utilizado para realizar previsões. O nome *Mentaculus* foi, então, utilizado por Barry Loewer para se referir à teoria de David Albert devido às pretensões da mesma de fornecer uma teoria completa de descrição do mundo.

A figura 18 nos fornece uma dimensão explicativa interessante do que é essa visão de *Mentaculus*. Todos os feixes de microestados possíveis se desenrolam a partir de microestados originais equiprováveis de um determinado macroestado. As alças causais (bifurcações) criam macroestados alternativos (ou “mundos possíveis”), cada qual com seus microestados possíveis. O microestado atual só é como é devido ao fato de alças causais que agem gerando macroestados terem gerado o macroestado atual, do qual esse microestado faz parte. A micro história atual é, portanto, consequência das alças causais que geraram a macro história atual. Assim, a incidência das alças causais ocorre sobre macroestados gerando microestados. A efetividade dessas alças causais na geração do macroestado atual se dá numa combinação entre probabilidade e condições iniciais.

Esse tipo de visão também é compartilhada por Papineau (2013) em seus escritos mais recentes. Para ele,

as estruturas de correlação assimétricas exibidas por relações causais sugerem que processos causais são semelhantes aos processos termodinâmicos. Em particular, sugerem que a causalidade também é um fenômeno essencialmente macroscópico, constituído pela natureza dos fatos passados, juntamente com distribuições de probabilidade sobre os microestados maximamente específicos que podem realizar certos macroestados.⁸⁶

Papineau usa a Lei Zero da Termodinâmica como exemplo de situação em que o microestado específico deve ser desconsiderado:

Para evocar o princípio geral, é preciso desconsiderar as informações sobre o microestado preciso, e que o sistema está num macroestado que é extremamente provável que a (mesmo sendo realizado por um microestado) temperatura se torne uniforme. É por isso que a termodinâmica é essencialmente macroscópica. Sem a informação probabilística sobre a maneira que macroestados são gerados por microestados, você não pode inferir a termodinâmica da microfísica.(...) Da mesma forma, eu sugiro, causação é um fenômeno essencialmente macroscópico. Se você se concentrar no microestado preciso de algum processo físico, você vai perder de vista o nexos de causalidade. A estrutura causal do mundo depende de fatos probabilísticos sobre as maneiras pelas quais dados macroestados sejam realizados a nível micro, ao invés dos próprios microestados.⁸⁷

⁸⁶ Papineau, *Causation is macroscopic but is not irreducible*, p.3: “the asymmetric correlational structures displayed by causal relationships suggest that causal processes are akin to thermodynamic processes. In particular, it suggests that causation is also an essentially macroscopic phenomenon, constituted by the nature of past facts together with probability distributions over the maximally specific microstates that can realize given macrostates.” Tradução nossa.

⁸⁷ Ibid, p. 3: “To bring out the general principle, you need to ‘throw away’ the information about the precise microstate, and note instead that the system is in a macrostate which is overwhelmingly likely to (be realized by a microstate that will) end up with a uniform temperature. This is why thermodynamics is essentially macroscopic. Without probabilistic information about the way in which given macrostates get realized by microstates, you cannot infer any thermodynamic patterns from microphysics. (...) Similarly, I

No exemplo do equilíbrio térmico, o que Papineau pretende dizer é que por mais que macroestados sejam configurados em última instância por microestados, são as características macroscópicas que determinam o macroestado do qual o microestado corrente faz parte. Em outras palavras, o que faz com que o microestado corrente o seja são as características probabilísticas do macroestado do qual o microestado corrente faz parte. Assim, causação é um fenômeno essencialmente macroscópico. Acerca da assimetria causal e da sua redutibilidade, Papineau argumenta que as:

relações causais assimétricas derivam de fatos probabilísticos sobre a maneira pela qual macroestados são realizados no nível micro. Esta imagem assume que cada macro-causa corresponde a algumas especificidades restritas a nível micro, da mesma forma que temperatura “implica” energia cinética. Os fatos probabilísticos sobre as diferentes maneiras em que esta condição pode ser satisfeita por microestados precisos, em seguida, explicam os padrões causais assimétricos envolvendo macroestados. (...) Se esta é a história geral certa sobre o nexo de causalidade, então é difícil ver como causas macroscópicas podem deixar de ser fisicamente redutíveis. Sua própria natureza como causas irá derivar de sua identificação com algumas especificações físicas restritas, pois é apenas em virtude dessa identidade que elas geram sistematicamente seus efeitos.⁸⁸

Com essa visão, Papineau acaba por mostrar como, mesmo a causação sendo um fenômeno essencialmente macroscópico, a assimetria causal não é irredutível.

Em conjunto, visões abordadas anteriormente acabam por nos fornecer argumentos interessantes para rebatermos os problemas levantados por Price e Weslake. Por mais que em *Philosophic foundations of Quantum Mechanics* Hans Reichenbach já tivesse antecipado uma consideração acerca da inexistência da causação no âmbito da física quântica por não ser possível de se estabelecer a transição entre leis estatísticas e leis estritas em tal domínio, seu argumento não parece ser robusto o suficiente para lidar com uma questão dessa magnitude.

suggest, causation is an essentially macroscopic phenomenon. If you focus on the precise microstate of some physical process, you will lose sight of causation. The causal structure of the world depends on probabilistic facts about the ways in which given macrostates are realized at the micro-level, rather than on the actual micro-realizations themselves.” Tradução nossa

⁸⁸ Ibid., p. 8: “asymmetric causal relations derive from probabilistic facts about the way in which macrostates are realized at the micro-level. This picture assumes that each macro-cause corresponds to some constraint specifiable at the micro-level, in the way that temperature corresponds to mean kinetic energy. The probabilistic facts about the different ways this condition can be satisfied by precise microstates then accounts for the asymmetric causal patterns involving macrostates. (...) If this is the right general story about causation, then it is hard to see how macroscopic causes can fail to be physically reducible. Their very nature as causes will derive from their typeidentity to some physically specifiable constraint, for it will only be in virtue of this identity that they systematically generate their effects.” Tradução nossa.

3.4.3 – O futuro do debate.

Tais concepções, no entanto, são passíveis de uma nova visão crítica. Se considerarmos como correta a abordagem de PH proposta pelo Mentaculus de Albert e Loewer, teremos uma estrutura causal em formato de árvore. Essa estrutura seria, portanto, completamente distinta da abordagem de rede causal, que parece ser mais próxima daquilo que a realidade é do que a estrutura em forma de árvore (FRISCH, 2007).

É impossível que, ao olharmos para as perspectivas que consideram a causação essencialmente macroscópica, não pensemos em um elemento fundamental: a nível planetário e galático, quando analisamos por exemplo o movimento dos planetas, percebemos que a simetria temporal ali existente faz com que a direção da causação seja irrelevante para a observação do fenômeno. Nesse sentido, a causação parece assumir um caráter intermediário entre a microfísica quântica, atômica e molecular e a macrofísica planetária, restando à mesma um domínio que parece estar mais relacionado ao domínio de observação e percepção humano. De acordo com essa perspectiva, faz todo o sentido considerar que na verdade nos interessa um aspecto mais interno da entropia, representado pelas irreversibilidades do cotidiano, do que um aspecto mais geral⁸⁹. Estando essa ideia de causação mais associada à percepção humana, ainda que seja uma perspectiva reducionista, ela parece ter uma certa aproximação com a ideia defendida por Huw Price acerca da Teoria Agencial da Causação. Teríamos, assim, uma circunstância de aproximação entre duas ideias que pareciam anteriormente imiscíveis: a perspectiva das assimetrias de garfo e a concepção antropomórfica da causação.

Para finalizar, apresentaremos na sequência um quadro (tabela) comparativo entre as propostas abordadas na presente dissertação acerca das concepções reducionistas da assimetria causal. Esse quadro possui, como único objetivo, colocar em perspectiva o que foi tratado por nós. Chamaremos de “elemento de redução” o recurso utilizado por um determinado pensador, ou por determinados pensadores, para associar a assimetria causal a elementos do mundo físico.

⁸⁹ Aqui abrimos um diálogo com a discussão proposta por Max Kistler em seu artigo *Reducing Causality to Transmission*. No entanto, optamos por não entrar muito naquilo que é discutido no mesmo.

PENSADOR(ES)	ELEMENTO DE REDUÇÃO	BREVE EXPLICAÇÃO
REICHENBACH	ENTROPIA	NA VISÃO DE HANS REICHENBACH, O FATO DA ENTROPIA SER UMA FEIÇÃO ASSIMÉTRICA DA REALIDADE QUE EXPLICA A IRREVERSIBILIDADE DOS FENÔMENOS É O QUE GARANTE A ASSIMETRIA CAUSAL.
LEWIS	SOBREDETERMINAÇÃO DO PASSADO PELO FUTURO	NA VISÃO DE DAVID LEWIS, É O FATO DE EVENTOS NO PASSADO DEIXAREM UMA QUANTIDADE IMENSA DE MARCAS NO FUTURO QUE DETERMINA A ASSIMETRIA CAUSAL.
PAPINEAU	ASSIMETRIA PROBABILÍSTICA EVIDENCIAL DO SCREENING OFF	PARA DAVID PAPINEAU, RESIDE NO ELEMENTO QUE REALIZA A COMPARTIMENTALIZAÇÃO (SCREENING-OFF) A GARANTIA DA ASSIMETRIA CAUSAL.
ALBERT, KUTACK E LOEWER (AKL)	PH (HIPÓTESE DO PASSADO DE FEYNMAN)	DE ACORDO COM A PERSPECTIVA AKL, O QUE DETERMINA A ASSIMETRIA CAUSAL É O FATO DE QUE TODAS AS MICROHISTÓRIAS POSSÍVEIS POSSUEM UMA MACROHISTÓRIA PASSADA EM COMUM.

Tabela 4 – quadro comparativo das concepções reducionistas.

3.5 – Considerações finais

Neste capítulo apresentamos o debate acerca das propostas reducionistas da causação. Esse debate, conforme foi visto, gira em torno de ideias que remetem a concepções probabilistas ou contrafactuais da causação e das críticas que as mesmas receberam e recebem até hoje.

Em um primeiro momento, apresentamos as ideias de David Lewis acerca da dependência contrafactual e da relação entre contrafactuais e causação. A relevância de David Lewis em termos de uma concepção reducionista da causação é próxima da relevância do próprio Reichenbach. A proposta de Lewis apresenta uma ideia de causação que se centra em fatos específicos para falar de causação. Se considerarmos a dupla definição de causa de David Hume⁹⁰, o enfoque probabilista derivado de Reichenbach se aproxima da definição regularista, enquanto o enfoque de Lewis se aproxima da definição contrafactual.

⁹⁰ Tratada na introdução da dissertação.

Em seguida, demos um breve panorama acerca de como a assimetria do screening-off passou, após Reichenbach, por uma releitura que deu um peso especial à questão da probabilidade.

Após apresentarmos os pontos supra, abordamos as principais críticas acerca dos programas reducionistas, feitas por Huw Price e Brad Weslake. Essas críticas levantaram pontos muito relevantes acerca da limitação, em termos de escopo, das abordagens reducionistas.

Por fim, fornecemos um recorte daquilo que pode ser visto como uma alternativa para que as teorias reducionistas mantenham-se vivas no debate acerca da causação, que é o questionamento acerca da existência ou não da causação em um âmbito microfísico. A abordagem AKL propõe uma revisão da teoria contrafactual considerando a PH para a assimetria causal, enquanto os trabalhos recentes de Papineau visam manter a redutibilidade da assimetria causal às assimetrias do mundo físico mesmo com a consideração de que a causação é essencialmente macroscópica. E tais hipóteses, como foi visto, além de não finalizarem a questão possuem diversos pontos passíveis de crítica.

Conclusão

Nesta dissertação, partimos da hipótese de que a assimetria da causação poderia ser entendida numa perspectiva reducionista, de forma que a relação assimétrica entre causa e efeito tivessem uma base física no mundo. Tal hipótese é usada como tentativa de resposta a problemas identificados por Bertrand Russell na relação entre Física e causação e se opõe à ideia de que causalidade é uma categoria do entendimento humano.

Inicialmente apresentamos os problemas levantados por Bertrand Russell ao analisar a necessidade da noção de causa para a construção de teorias físicas. Um dos principais – se não o principal – problemas apresentados por Russell é o fato de que a relação entre causa e efeito é assimétrica, enquanto as leis físicas são todas simétricas. Assim, o primeiro capítulo da dissertação é todo construído no sentido de mostrar de que forma a questão da simetria (em especial a simetria temporal) está presente nas leis da física. Mostramos, por fim, que embora as leis da Física sejam temporalmente simétricas, a irreversibilidade dos fenômenos representada pelo princípio da Entropia possui um caráter assimétrico.

No segundo capítulo apresentamos a teoria de Hans Reichenbach acerca da causação. De acordo com tal teoria, a causação é redutível à entropia. Isso se deve ao fato de que, na visão de Reichenbach, as chamadas Leis Causais (ou Leis Estritas) são sempre derivadas de Leis Estatísticas. Para demonstrar as suas ideias, Reichenbach irá resgatar os trabalhos de Boltzmann acerca da mecânica estatística e da forma como a análise estatística de fenômenos térmicos foi fundamental para uma melhor compreensão dos mesmos. Após lançar mão das ideias de Boltzmann, Reichenbach percorre um longo caminho argumentativo – cujos momentos mais relevantes foram todos abordados na presente dissertação – em que ele acaba por mostrar que a redução da assimetria da causação à entropia se dá por dois elementos fundamentais: O critério de transferência de marca e o princípio da causa comum. A grosso modo, o critério de transferência de marca diz que quando uma causa gera um efeito ela transfere para este efeito uma marca. Já o princípio da causa comum determina que quando dois efeitos ocorrem concomitantemente, se tal ocorrência for improvável, isso denota que deve haver uma causa comum responsável por gerá-los.

O terceiro capítulo se presta a basicamente três funções fundamentais: A primeira é a de mostrar o que de relevante em termos reducionistas foi produzido após o trabalho de Reichenbach; A segunda é a de erguer as principais críticas realizadas pelos filósofos que se contrapunham às visões reducionistas; A terceira é a de apresentar como se dá a sequência do debate até os dias de hoje.

Em se tratando de teorias reducionistas pós Reichenbach, o trabalho que mais se destaca é o de David Lewis. David Lewis lança mão da chamada teoria contrafactual da causação para, à partir dos chamados condicionais contrafactuais e da ideia de mundos possíveis, fornecer uma base robusta e adequada para a explicação das relações causais. Em termos da assimetria causal, Lewis apresenta a chamada assimetria da sobredeterminação do passado pelo futuro que é tratada pelo autor à partir do exemplo da assimetria da radiação. Também foi apresentada nesse momento da dissertação a ideia de David Papineau da chamada assimetria do screening off. Papineau, para desenvolver a tese de que a assimetria causal é redutível à assimetria do screening off, utiliza-se especialmente das teses de John Mackie acerca da condição INUS e de Patrick Suppes sobre a teoria probabilística da causação.

As críticas recebidas pelos programas reducionistas possuem uma enorme relevância na sequência do debate. Tais críticas foram levantadas principalmente por Huw Price e Brad Weslake e giram em torno de um ponto fundamental. Price identifica em todos os programas reducionistas a chamada assimetria de garfo. Segundo Price, essa assimetria seria o componente responsável por garantir a redução da causação a elementos do mundo físico. No entanto, tal assimetria representa para Price uma estratégia falha no seguinte sentido: Sabendo que a terceira seta que é colocada entre a causação e o mundo possui um forte caráter probabilístico, como podemos explicar à partir dela a ocorrência de relações causais a nível microscópico?

Na tentativa de se responder a essa questão, alguns pensadores tentaram erguer teorias que visassem analisar a causação sob um aspecto fundamentalmente macroscópico. Dentre elas, tratamos na dissertação da chamada abordagem AKL que lança-se mão das ideias de alças causais e da hipótese da existência do Big Bang para se conceber uma espécie de mapa probabilístico do mundo. Outra que é tratada é a recente abordagem de David Papineau de que embora a causação seja redutível, ela é essencialmente macroscópica. Essas concepções, apesar de promissoras, apresentam problemas muito importantes e de difícil resolução.

O que podemos dizer de forma conclusiva na presente dissertação é que as ideias que tendem a eliminar a causação do ambiente microscópico para salvar o reducionismo não só apresentam alguns problemas que devem ser discutidos como tampouco respondem de forma cabal e definitiva às críticas feitas aos programas reducionistas. No entanto, a contribuição das mesmas é fundamental não só para a continuidade do debate, mas para que novas formas de análise, sejam elas reducionistas ou não, surjam no horizonte.

Referências Bibliográficas

AGUIAR, T. (2008) *Causalidade e direção do tempo*. Belo Horizonte, Editora UFMG.

AGUIAR, T. (2018) *Causalidade, contrafactuais e leis*, In: Síntese, Belo Horizonte, v. 45, n. 141, p. 89-98, Jan./Abr., 2018.

ASIMOV, I. (1979) *Fundação*. trad. Fábio Fernandes. São Paulo. Editora Aleph. 11 ed. 2009.

ALBERT, D. (2001) *Time and Chance*. Harvard University Press, Cambridge, MA, 2001. 186 pp.

BOLTZMANN, L. (1905) *Acerca da mecânica estatística*. trad. Sílvia Dahmen, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 28, n.3, pp. 259-266, 2006.

_____. (2004) *Escritos Populares*. trad. e org. Antônio Videira, São Leopoldo, Editora Unisinos, 2005.

CHAVES, A (2001) *Física volume 4*. Rio de Janeiro, Reichmann & Affonso Editores, 2001. 1 ed.

DAHMEN, S. (2006) *A obra de Boltzmann em Física*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 28, n. 3, 2006.

FEYNMAN, R. (1967) *The Character of physical law*. The MIT Press.

_____. (2012) *Sobre as leis da Física*. Tradução: Marcel Novaes.

FRISCH, M. (2007) *Causation, counterfactuals, and entropy*. In: CORRY, R. PRICE, H., *Causation, Physics and the Constitution of Reality*. New York, Oxford University Press, 2009.

HALLIDAY, D., RESNICK, R., KRANE, K. (2002) *Física volume 2*. trad. Marcelo Areias Trindade et al. Rio de Janeiro, LTC editora, 2003. 5 ed.

HITCHCOCK, C. (2003) *What Russell Got Right*, In: CORRY, R. PRICE, H., *Causation, Physics and the Constitution of Reality*. New York, Oxford University Press, 2009.

HOBSBAWM, E. J. (1962) *A era das revoluções*. trad. Maria Tereza Lopes Teixeira e Marcos Penchel. 9.ed. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

HORWICH, P. (1987) *Asymmetries in Time*. Cambridge, Mass., MIT Press, 1987.

HUME, D. (1748) *Investigações sobre o entendimento humano e sobre os princípios da moral*. trad. José Oscar de Almeida Marques. São Paulo, Editora da Unesp, 2003.

KISTLER, M. (1998) *Reducing Causality to Transmission*. Erkenntnis 48 , pp. 1-24.

KUHN, T. (1976) *Tradição matemática versus tradição experimental no desenvolvimento das ciências físicas*, In: *A Tensão Essencial*. trad. Marcelo Amaral Penna-Forte. São Paulo, Editora UNESP, 2011.

LEBOWITZ, J. L. (2007) *From Time-symmetric Microscopic Dynamics to Time-asymmetric Macroscopic Behavior: An Overview*.

LEWIS, D. (1986) *Counterfactual dependence and time's arrow*, In: *Philosophical Papers*, vol. II, Oxford: Oxford University Press, pp. 32 – 66. Originally published in 1979 in *Nous*, 13, pp. 455 – 476. Tradução: Breno Sardenberg.

LOEWER, B. (2007) *Counterfactuals and the second Law*, In: CORRY, R. PRICE, H., *Causation, Physics and the Constitution of Reality*. New York, Oxford University Press, 2009.

_____. (2013) *The Mentaculus vision*, In: *Time's Arrows and The Probability Structure of The World*, Harvard University Press, Cambridge MA.

MACKIE, J.L. (1965) *Causes and Conditions*, In: *American Philosophical Quarterly*, 2 (1965): 245-264.

NUSSENZVEIG, M. (1933) *Curso de Física Básica*. Volume 2, 4ª ed. revisada, São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2002.

PAPINEAU, D. (1985) *Causal Asymmetry*. *British journal for the Philosophy of science*, 36, pp. 273 – 289.

_____. (2013) *Causation is Macroscopic but Not Irreducible*, In: *Mental Causation and Ontology*, Mar 2013.

PRICE, H. (1992), *Agency and Causal Asymmetry*, In: *Mind*, Vol. 101, n. 403, July 1992, pp. 501–520.

_____. (1996) *Time's Arrow and Archimedes' Point*. New York, Oxford University Press, 1997.

REICHENBACH, H. (1944) *Philosophic Foundations of Quantum Mechanics*. Berkeley-Los Angeles: University of California Press.

_____. (1957) *The Direction of Time*. Mineola, Dover Publications, 1999.

_____. (1928), *The Philosophy of Space and Time*. trad. M. Reichenbach, New York: Dover, 1958.

RUSSELL, B. (1913) *On the Notion of Cause*. In: *Mysticism and Logic and other Essays*. London: George Allen & Unwin Ltd.

SUPPES, P. (1970) *A probabilistic theory of causality*. Published. Amsterdam: North-Holland Pub. Co., 1970.

WESLAKE, B. (2006) *Common Causes and the Direction of Causation*. *Minds and Machines*, v. 16, n. 3.