

## TEMPO E IRREVERSIBILIDADE FÍSICA: ALGUMAS DISTINÇÕES CONCEITUAIS<sup>1</sup>

ALFREDO PEREIRA JÚNIOR

*Departamento de Educação, Instituto de Biociências,  
UNESP, Campus de Botucatu,  
18618-000 Botucatu. S.P.  
BRASIL*

O trabalho científico-filosófico de Ludwig Boltzmann, na segunda metade do Século XIX, e de seus seguidores filosóficos, Hans Reichenbach e Adolf Grünbaum, conduziu a uma conjunção dos conceitos de tempo (“direção” ou “anisotropia” do tempo), e de irreversibilidade física, revelando uma concepção filosófica reducionista, na qual uma propriedade do tempo (o tipo de ordem temporal) é derivada de uma propriedade dos processos físicos (o tipo de evolução da entropia).

No presente artigo realizamos, a partir da concepção kantiana do tempo, uma distinção semântica entre os conceitos de tempo e de irreversibilidade, e nos propomos a elucidar o vínculo entre os dois conceitos, que se estabeleceria, segundo nossa hipótese, no nível pragmático, ou seja, na interação entre os

---

<sup>1</sup> Gostaria de agradecer ao “referee” anônimo de *Manuscrito* pelas sugestões feitas sobre a primeira versão deste artigo. Gostaria também de agradecer aos professores Dr. Steven R. D. French e Dr. Osvaldo Pessoa Jr. pelas críticas sobre a minha tese de doutorado, cujo primeiro capítulo é uma versão anterior deste artigo, à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e, especialmente, à Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), pelo prêmio concedido a este trabalho.

agentes cognitivos portadores de esquemas temporais, e os ambientes em que atuam.

*The work of the scientist and philosopher Ludwig Boltzmann in the second half of the nineteenth century, together with that of his philosophical followers Hans Reichenbach and Adolf Grünbaum, has led to a connection between certain temporal concepts (in particular the concept of the “direction”, or “anisotropy”, of time), and that of physical irreversibility. This connection reveals a reductionist philosophical point of view in which a property of time, such as temporal ordering, is derived from a property of physical processes, such as increase in entropy.*

*In this paper we start from a Kantian conception of time and show that the concepts of time and irreversibility have distinct meanings. In addition we attempt to clarify the relation between these two concepts. In our view, the connection between them is established at the pragmatic level, that is, it is set up between cognitive agents equipped with a temporal framework and the environment in which they function.*

## 1. INTRODUÇÃO

A Filosofia da Ciência contemporânea tem manifestado grande interesse a respeito do *tempo*, freqüentemente tomado, em congressos interdisciplinares, como conceito unificador de diversas áreas científicas, ou como tema cujas implicações conduziriam a profundas alterações na ciência física (p.ex., ver Prigogine, (1981)).

As discussões a respeito do chamado “tempo físico”, na maior parte das vezes pressupõem a concepção reducionista, segundo a qual as propriedades do tempo seriam derivadas de propriedades dos processos físicos, com base na evolução de uma determinada quantidade (cujo caso típico é o da entropia) ou em um conjunto de parâmetros (p. ex., os relacionados à “expansão do universo”). Tal concepção adquiriu no-

toriedade no contexto científico-filosófico a partir do trabalho de Ludwig Boltzmann, que em suas influentes *Leituras Sobre a Teoria dos Gases*, publicadas em livro em 1896, propôs que a direção de evolução da entropia constituiria a “direção do tempo”.

Embora o trabalho de Boltzmann trouxesse imensa contribuição para o entendimento da irreversibilidade dos processos físicos, conferida pela entropia, a tentativa de extensão de suas conclusões a respeito da irreversibilidade, para o entendimento da mais notável propriedade do tempo, sua “direção” ou assimetria, não estava à altura da complexidade filosófica do conceito de tempo. Por outro lado, a inestimável contribuição de Boltzmann e seus seguidores filosóficos, Reichenbach e Grünbaum, para o entendimento da direção dos processos físicos, tem sido atualmente subestimada, tanto da parte dos filósofos quanto da parte dos cientistas. Muitos filósofos supõem que o entendimento da irreversibilidade dos processos naturais só seria possível a partir de uma teoria do “vir-a-ser” (“temporal becoming”) objetivo, o que implicaria na objetivação das noções psicológicas de passado, presente e futuro, ou ainda na atribuição de uma mal definida “criatividade” aos processos físicos. Já para os cientistas, encontramos freqüentemente afirmações de que uma explicação satisfatória da irreversibilidade teria que se basear na física contemporânea (teorias quântica e/ou relativística, ou alguma nova teoria), considerando-se o quadro teórico da mecânica clássica, onde trabalhou Boltzmann, insuficiente para tanto. Contra essas duas vertentes, julgamos ser possível sustentar, primeiramente, a viabilidade de uma teoria da irreversibilidade física que não faça uso da noção de “vir-a-ser” temporal; e, em segundo lugar, a viabilidade da explicação da irreversibilidade física macroscópica, oferecida pelo trabalho de Boltzmann de 1872, o chamado “Teorema-H” (cf. Pereira Jr. (1994), Cap. 4).

Para uma reavaliação crítica das contribuições filosófico-científicas de Boltzmann e seus seguidores, que julgamos necessária, e já iniciada desde 1972, quando a “Equação de Boltzmann” completou seu centenário, discutimos aqui as principais concepções filosóficas do tempo, e de suas relações com os processos físicos. Com base no conceito do tempo apresentado originalmente por Kant, julgamos que aquilo que entendemos por “tempo”, quer no contexto do senso comum, quanto no contexto científico, diga respeito a esquemas utilizados por agentes cognitivos para ordenar suas sensações, representações e ações. Na construção do conhecimento físico, se constituiu culturalmente um agente cognitivo inter-subjetivo, a chamada “comunidade científica”, que utiliza a “reta real” como esquema de coordenação temporal dos processos físicos. Entendemos portanto que o significado próprio do conceito de tempo na física se referiria à coordenada temporal, concebida como esquema inter-subjetivo.

Na medida em que o uso de um determinado esquema temporal possibilite que as operações do agente cognitivo, que o possui, sejam consideradas bem-sucedidas, implicando na existência de uma “adaptação” (no sentido biológico do termo) entre o agente e o seu ambiente, então podemos afirmar que as propriedades do esquema temporal, embora tenham sua existência “dependente da mente” (“mind-dependent”), estão afinadas pragmaticamente com propriedades do ambiente em que o agente atua. Desse modo, a concepção do tempo, proposta originalmente por Kant, não deve ser interpretada unicamente como sendo de cunho idealista ou subjetivista. As propriedades dos processos físicos não definem o tempo, nem são em si mesmas temporais, mas, para agentes cognitivos adaptados, constituem *uma contrapartida objetiva* para as propriedades de seus esquemas temporais. Essa situação de afinidade entre a estrutura lógica de um esquema cog-

nitivo e a estrutura dos processos naturais, não se enquadra nas categorias epistemológicas clássicas de idealismo, ou realismo (no sentido de correspondência unitária entre proposições e fatos). À falta de uma categoria epistemológica apropriada, intitulamos tal concepção de *realista pragmática*, onde o termo “pragmático” se refere ao aspecto de que a afinidade entre o esquema e os processos naturais seria *mediada pelas ações* do agente cognitivo, o que implica na impossibilidade de sua verificação independente do conhecimento dos tipos de ações efetuadas por tal agente.

O presente estudo dos conceitos de tempo e irreversibilidade se divide nas seguintes seções:

- . seção 2: concepções filosóficas do tempo e métodos para o seu estudo;
- . seção 3: meios lógicos de representação do tempo e dos processos temporais, em particular no que se refere ao tipo de ordem;
- . seção 4: ampliação da concepção kantiana do tempo;
- . seção 5: relação entre a ordem do tempo e a ordem dos fenômenos em Kant;
- . seção 6: os conceitos de reversibilidade e irreversibilidade dos processos físicos, definidos com base na variação de uma quantidade física (no caso, a entropia), e as alternativas de explicação científica do fenômeno da irreversibilidade;

- . seção 7: como concebemos a afinidade entre a relação de ordem do esquema temporal e a relação de ordem dos processos físicos; o problema da escolha de propriedades do tempo e/ou dos processos físicos.

## 2. O TEMPO E OS PROCESSOS TEMPORAIS

A temporalidade possui duas faces: de um lado, o próprio tempo, e de outro, aquilo que ocorre no tempo, ou seja, os processos temporais. Temos menor dificuldade em entender os últimos, pois eles nos fornecem um conteúdo perceptivo, podendo muitas vezes ser descritos por uma linguagem de primeira ordem. Quanto ao próprio tempo, em seu estudo sempre nos deparamos com a célebre dificuldade de definição lingüística<sup>2</sup>, e com sua ausência enquanto objeto de experiência. Essas dificuldades deram origem a (pelo menos) três diferentes concepções filosóficas do tempo<sup>3</sup>:

- (1) absolutista: o tempo é uma entidade objetivamente existente, e suas propriedades são independentes das propriedades dos processos temporais (incluindo aqui os processos cognitivos); eventualmente, as propriedades do tempo podem influenciar as propriedades dos processos temporais;

---

<sup>2</sup>Ver St. Agostinho, *Confissões*, Liv. X, Cap. XIV, e os comentários de Lacey (1972), pp.41-58, e Lucas (1973), p.335.

<sup>3</sup>Alguns dos grandes pensadores que elaboraram teorias sobre a temporalidade são: Platão, Aristóteles, Newton, Kant, Husserl, Russell, McTaggart, Bergson e Heidegger. Algumas obras recentes, que oferecem uma visão histórica e/ou sistemática dos problemas da filosofia do tempo, são as de Whitrow (1961), Grünbaum (1972), Lacey (1972), Lucas (1973), Newton-Smith (1980), Kröes (1985), Van Fraassen (1985) e Horwich (1987).

- (2) relacionalista: as propriedades do tempo são as propriedades dos processos temporais (relacionalismo-reducionista) ou são construídas por um agente cognitivo, em função das propriedades dos processos temporais que experiencia (relacionalismo-subjetivista);
- (3) cognitivista: as propriedades do tempo são existentes *a priori* em um agente cognitivo, enquanto elementos ordenadores que organizam suas sensações e representações do mundo em que atua.

Enquanto para os absolutistas as dificuldades inerentes ao estudo do tempo seriam compreensíveis, frente a seu caráter transcendente, para os relacionalistas elas seriam superáveis através do estudo rigoroso dos processos temporais. Para os cognitivistas, também poderiam ser superadas, através da identificação dos elementos constitutivos dos sistemas cognitivos. Porém, os caminhos escolhidos pelos dois últimos grupos também apresentam obstáculos, como o da diversidade de processos temporais, por um lado, e de sistemas cognitivos (e suas respectivas constituições), por outro.

A lógica moderna ofereceu instrumentos de expressão simbólica das propriedades estruturais do tempo, contornando, em parte, as antigas dificuldades apresentadas pela Filosofia do Tempo. Podemos representar com clareza e rigor as propriedades do tempo, como: unicidade ou pluralidade de tempos; universalidade ou não; linearidade ou ciclicidade da ordem temporal; simetria ou assimetria da mesma; finitude ou infinitude do tempo; limitação unilateral (se, caso seja infinito, possui um começo ou um término); densidade ou discretude; métrica. Podemos, como exercício formal, formular qualquer possível propriedade do tempo. O problema filosófico se des-

loca, então, para a justificação de uma das opções, em detrimento das demais.

Mesmo que não sejamos relacionistas, o problema acima referido nos conduz para o estudo dos processos temporais, pois é através deles que obtemos subsídios para justificar uma ou outra escolha de propriedades do tempo<sup>4</sup>. Mesmo os absolutistas necessitam se referir aos processos temporais, para neles encontrar formas de expressão do tempo absoluto. No estudo dos processos temporais, encontramos (pelo menos) cinco possíveis abordagens:

- (1) naturalista: através da consideração empírica de processos físicos, químicos e/ou biológicos;
- (2) antropológica: estudo dos modos de representação e vivência do tempo em diversas culturas;
- (3) fenomenológica: estudo das formas de consciência e vivência do tempo, através, basicamente, da introspecção;
- (4) transcendental: estudo racional das condições de possibilidade da representação do tempo, através da "dedução transcendental" de conceitos;

---

<sup>4</sup>Muitas vezes o estudo empírico dos processos temporais não é suficiente para a decisão a respeito da estrutura do tempo, devido ao conhecido problema da subdeterminação de proposições teóricas. Sobre o assunto, ver Pereira Jr. e French (1990a), onde se encontra uma discussão das diversas posições filosóficas a respeito da subdeterminação das teorias científicas.

(5) lingüística: estudo das flexões verbais, na linguagem ordinária ou na lógica temporal.

No presente trabalho nos limitaremos ao estudo do problema da ordem temporal, em especial o de sua simetria ou não simetria. Nesse estudo, adotamos a posição cognitivista a respeito da natureza das propriedades do tempo, juntamente com uma abordagem naturalista, para a consideração dos processos temporais. Segundo a posição cognitivista, a estrutura do tempo é dada *a priori* para um agente cognitivo, que dela faz uso para representar os processos temporais com os quais se depara em sua experiência. Mesmo que o agente não possa apreender a estrutura *a priori* do tempo como objeto de consciência, pode fazer inferências a seu respeito, com base no seu uso passado, isto é, analisando como ordenou os fenômenos, em sua experiência passada. Tal análise é uma pedra de toque para as abordagens fenomenológica e transcendental, mais comumente associadas com a concepção cognitivista<sup>5</sup>. Contudo, também encontramos nas ciências da natureza bons exemplos de representações de processos temporais, coordenados temporalmente segundo uma estrutura *a priori*. As representações dos movimentos dos corpos, por intermédio das equações da física clássica, constituem casos típicos, nos quais o próprio Kant se inspirou, para a formulação de seu conceito do tempo. Podemos, então, expandindo a concepção kantiana, considerar as representações científicas da natureza como atividades de um agente inter-subjetivo (a "comunidade cientí-

---

<sup>5</sup> Um belo exemplo da concepção cognitivista, desenvolvida através da abordagem fenomenológica, é o trabalho de Husserl sobre a percepção do tempo, que estudamos brevemente em Pereira Jr. (1990).

fica"), que se utiliza de esquemas *a priori* para sua elaboração, dentre os quais um esquema temporal.

Além disso, também encontramos nas representações científicas dos processos temporais outras propriedades desses processos, que não as oriundas do próprio esquema temporal. Ou seja, além das determinações dos eventos no tempo, estes também são determinados quanto à massa, volume, temperatura, pressão, etc.. Enquanto a determinação temporal é, para o cognitivista, *a priori*, essas outras determinações são, via de regra (excetuando de momento casos polêmicos, como o da relação causal), *a posteriori*. Abre-se então, no contexto da abordagem naturalista, interessante questão para o cognitivista: investigar se, como e porque as determinações temporais *a priori* estariam correlacionadas com determinações não-temporais *a posteriori*<sup>6</sup>.

### 3. MODELOS DO TEMPO E DOS PROCESSOS TEMPORAIS

Descreveremos as propriedades da estrutura *a priori* do tempo, e da estrutura *a posteriori* dos processos temporais, por meio de dois tipos de modelos simbólicos, independentes entre si.

O modelo simbólico típico do tempo contém basicamente um domínio I (conjunto dos instantes temporais) e uma relação binária AT (anterioridade temporal) como termos primitivos. Devemos reforçar que primitivamente AT ordena os instantes temporais, e não os eventos que ocorrem nos instantes (na aplicação desse modelo, por parte do agente cognitivo, os eventos são localizados nos instantes ou interva-

---

<sup>6</sup>Na seção nº 4 deste artigo apresentaremos nossa solução para esse problema, assim como, na seção nº 4, uma breve comparação com a solução de Kant.

los, isto é, conjuntos de instantes formando um contínuo e, desse modo, passam a ser ordenados por AT). No nível do modelo do tempo (não preenchido por eventos), dizemos que AT estabelece uma ordem temporal pura, e que um contínuo de instantes constitui uma duração temporal pura.

Propriedades da ordem temporal pura são expressas no modelo acima como propriedades de AT. Utilizando as definições formais expostas por Suppes<sup>7</sup>, temos:

AT é *reflexiva* em

$$I \leftrightarrow \forall x [x \in I, (x \text{ AT } x)]$$

AT é *irreflexiva* em

$$I \leftrightarrow \forall x [x \in I, \neg (x \text{ AT } x)]$$

AT é *simétrica* em

$$I \leftrightarrow \forall x \forall y [x, y \in I, (x \text{ AT } y) \rightarrow (y \text{ AT } x)]$$

AT é *assimétrica* em

$$I \leftrightarrow \forall x \forall y [x, y \in I, (x \text{ AT } y) \rightarrow \neg (y \text{ AT } x)]$$

AT é *anti-simétrica* em

$$I \leftrightarrow \forall x \forall y [x, y \in I, (x \text{ AT } y) \& (y \text{ AT } x) \rightarrow x = y]$$

---

<sup>7</sup> Suppes (1960), p.69. Uma aplicação dessas definições, em um modelo do tempo também constituído por um conjunto de instantes, e uma relação binária "temporalmente anterior", foi feita por Newton-Smith (1980), pp. 51-52, que, em seu apêndice (pp. 243-245), dá uma explicação abrangente das propriedades das relações formais utilizadas na filosofia do tempo. Esse autor denomina as propriedades da ordem temporal de "topológicas", distinguindo-as assim das propriedades da métrica temporal. Estudos mais aprofundados da expressão formal das propriedades da relação de ordem temporal podem ser encontrados em trabalhos na área de lógica temporal.

AT é *conexa* em

$$I \leftrightarrow \forall x \forall y [x, y \in I, x \neq y, (x \text{ AT } y) \vee (y \text{ AT } x)]$$

AT é *desconexa* em

$$I \leftrightarrow \forall x \forall y [x, y \in I, x \neq y, \neg [(x \text{ AT } y) \vee (y \text{ AT } x)]]$$

AT é *transitiva* em

$$I \leftrightarrow \forall x \forall y \forall z [x, y, z \in I, ((x \text{ AT } y) \wedge (y \text{ AT } z)) \rightarrow (x \text{ AT } z)]$$

AT é *intransitiva* em

$$I \leftrightarrow \exists x \exists y \exists z [x, y, z \in I, \neg (((x \text{ AT } y) \wedge (y \text{ AT } z)) \rightarrow (x \text{ AT } z))]$$

Na ciência física moderna, é utilizada uma variedade do modelo do tempo na qual os instantes são associados aos números reais, e a relação de anterioridade é associada à relação "menor que", que ordena esses números. Nesse modelo padrão, o tempo adquire a forma da "reta real", com propriedades de irreflexibilidade, assimetria, conectividade e transitividade. Em sua aplicação empírica ele é utilizado como "coordenada", isto é, como um sistema formal de referência, associado com a posição de um agente cognitivo (um "observador"), o que constitui requisito para a representação (algébrica ou gráfica) dos processos físicos.

Nosso modelo dos processos temporais se restringirá aos processos físicos. Existe grande diversidade de processos temporais, mas seu estudo está limitado a diferentes domínios empíricos. Uma das mais abrangentes abordagens é a oferecida pela Física moderna, na Mecânica Clássica (que se aplica aos corpos que se deslocam no espaço e no tempo, inclusive às partículas microscópicas) e na Termodinâmica (que se aplica às transformações macroscópicas expressas na forma de alterações de volume, pressão e/ou temperatura, etc.). Embora os resultados dessas duas disciplinas científicas tenham alcance

limitado frente à Biologia, à Psicologia ou mesmo frente à própria Física atual, acreditamos que forneçam material suficiente para uma análise não exaustiva de algumas propriedades dos processos temporais. Desse modo, tomaremos os processos físicos, descritos pela Mecânica Clássica e pela Termodinâmica (e pela filha bastarda dessas duas disciplinas, a Mecânica Estatística) como exemplos típicos dos processos temporais, não excluindo, como é evidente, a validade de outras abordagens desses processos.

Para representar os processos físicos, introduziremos um tipo de modelo composto basicamente por um domínio  $E$  (conjunto de estados dos sistemas físicos<sup>8</sup>) e a relação de ordem  $DF$  (direcionalidade física). A direcionalidade física é uma relação de ordem transitiva e conexa, entre os estados de um mesmo sistema físico, sendo que tal ordem é estabelecida por fatores que ocorrem no tempo, mas não são determinados pela estrutura do tempo: leis físicas, entropia, expansão do universo, causação (em interpretação não humeana), etc. A direcionalidade entre dois estados físicos  $E_1$  e  $E_2$  não deve, portanto, ser entendida como relação de anterioridade temporal; ou seja, " $E_1 DF E_2$ " significa " $E_1$  está fisicamente direcionado para  $E_2$ ", e, não, " $E_1$  é temporalmente anterior a  $E_2$ ". Enquanto  $E_1$  e  $E_2$  forem coordenados por um agente cognoscente, que se utiliza de um esquema temporal, então a relação de anterioridade temporal poderá se sobrepor à  $DF$ . Porém, mesmo que não recoberta por  $AT$ , julgamos  $DF$  suficiente para estabelecer

---

<sup>8</sup>Podemos nos referir, ao invés de estados físicos, aos eventos físicos, entendendo por "evento físico" a ocorrência de um determinado estado em um sistema físico. Ver sobre o assunto Van Fraassen (1985), pp. 33-34.

a ordem dos estados de um sistema físico<sup>9</sup>. Essa ordem pode ter as propriedades de reflexibilidade ou irreflexibilidade, simetria, assimetria ou anti-simetria, transitividade ou intransitividade, que são definidas da mesma maneira como fizemos para AT em I (só que, agora, para DF no domínio E).

DF pode ser estabelecida em função de uma conjunção de determinações não-temporais que afetam os sistemas físicos. Nesse caso, temos progressivamente:

- (1) Um estado de um sistema físico, afetado por diferentes determinações (por exemplo, de pressão, volume e temperatura);
- (2) Um processo físico, como sucessão de diferentes estados daquele sistema;
- (3) A relação DF como ordenação da sucessão de estados;
- (4) A projeção de DF em um domínio ordenado por AT, por parte de um agente cognitivo.

Um sistema físico, por sua vez, é aquele que mantém invariantes certas características físicas distintivas (energia, limites espaciais, etc.) ao longo de suas mudanças de estado. A sucessão de estados de um sistema físico pode ser representada em um gráfico de N dimensões (o chamado "espaço de fase"), onde cada dimensão expressa uma das grandezas físicas do sistema. A relação DF estabelece parcialmente uma topologia nesse espaço abstrato, a qual, segundo nossa pressuposição de

---

<sup>9</sup> Assumimos de antemão a conectividade de DF apenas para um só sistema físico; julgamos que ela seria não-conexa, para grupos de sistemas com diferentes características.

independência conceitual, seria logicamente independente da topologia do esquema temporal através do qual um agente cognoscente coordena sua representação da sucessão de estados ordenados por DF.

Ressaltamos que nem AT, nem DF, nem a superposição de ambas, têm a conotação de “vir-a-ser temporal” (“temporal becoming”). O recobrimento de uma relação DF por uma relação AT, para um determinado observador, frente a um determinado grupo de sistemas, estabelece uma ordem temporal entre os estados ou eventos físicos que corresponde, aproximadamente, às “séries B” de Russell e McTaggart. Mas a noção de “vir-a-ser” temporal envolve também a distinção entre passado, presente e futuro, isto é, as “séries A” definidas pelos mesmos filósofos<sup>10</sup>. O “vir-a-ser” corresponde ao deslizamento do momento do presente, relativo ao estado atual de consciência de um observador, ao longo da cadeia de eventos de uma série B, de modo que os eventos da série B ocupem sucessivamente, na série A, os lugares de futuro, presente e passado. Como o “vir-a-ser” pressupõe a noção de um “presente em movimento” (“moving now”), que, por sua vez, depende da existência de experiência consciente, por parte do observador, então sua realidade se situa no nível dos processos psicológicos superiores. Já o esquema temporal se situa nos níveis mais elementares da estrutura funcional dos sistemas cognitivos, onde organiza a sucessão de sensações, e a própria sucessão de operações mentais, independentemente da função de consciência. Enquanto Grünbaum defendia que sua “anisotropia do

---

<sup>10</sup> As séries B são constituídas por seqüências de eventos ordenados intrinsecamente pela relação de anterioridade; no nosso caso de recobrimento, a relação de anterioridade entre os eventos é conferida pelo esquema temporal do observador. As “séries A”, por sua vez, são constituídas por eventos que se localizam no passado, presente ou futuro, relativamente a um observador.

tempo” seria objetiva, e o “vir-a-ser temporal” puramente psicológico (cf. Grünbaum (1972), pp.209-210), nós defendemos que a assimetria dos processos temporais envolve apenas as funções mentais mais elementares, e se estabelece independentemente do “vir-a-ser temporal”, o qual envolve *também* o “fluxo” da consciência. Concedemos que, do ponto de vista da experiência consciente (que é o ponto de vista filosófico da fenomenologia), a percepção do tempo tenha sob foco o “vir-a-ser” temporal, como sua realidade primária. Essa é uma das ilusões da consciência, pois, como argumentamos acima, a constituição da temporalidade se dá em nível mais elementar, em que a relação AT do esquema temporal recobre seqüências de eventos ou estados físicos ordenados por DF.

#### 4. CONCEPÇÃO "BIOLÓGICA" DA ORDEM TEMPORAL *A PRIORI*

Com a distinção dos dois tipos de modelos feita acima, adotamos uma independência conceitual entre a estrutura do tempo e a estrutura dos processos físicos. As relações AT e DF são logicamente independentes, mas, mesmo assim, somos impelidos a acreditar que deva existir algum tipo de afinidade, ou mesmo algum tipo de isomorfismo, entre elas. Para elucidar as razões que motivam tal crença, precisamos examinar alguns aspectos da concepção cognitivista do tempo, por um lado, e da abordagem naturalista dos processos temporais, por outro, quando notaremos que a exigência de afinidade estaria fundada em um legítimo apelo de ordem pragmática.

Vamos inicialmente discutir, e reelaborar à nossa maneira, a concepção cognitivista do tempo, que tem sua origem na *Crítica da Razão Pura*. Chamamos nossa versão particular dessa concepção de "biológica", porque faz uso de categorias emprestadas de teorias biológicas; porém, usamos o termo en-

tre aspas devido a que, como se sabe, os conceitos de tempo e de ordem temporal não são objetos de estudo das ciências biológicas. Em seguida compararemos nossa concepção com a original kantiana, mostrando os focos de divergência para com aquela, para, nas próximas seções, nos dedicarmos à discussão da abordagem naturalista dos processos temporais, e tirar algumas conclusões a respeito do nexo entre estrutura do tempo e estrutura dos processos físicos.

Os seres vivos, especialmente aqueles dotados de um sistema nervoso, coordenam sua apreensão dos fenômenos segundo uma ordem temporal, conferida por uma "regra" (no sentido computacional, e não normativo, da palavra), inerente a tais sistemas. Essa regra está basicamente codificada em seu "programa" genético, existindo *a priori* para cada ser vivo individual; isto é, a ação efetiva de cada ser individual, para que esteja dentro do padrão comportamental da espécie a que pertence, já pressupõe desde o início a aplicação dessa regra na coordenação de sua ação. Um ser individual não pode alterar tal regra, porque não pode alterar seu próprio "programa" genético (hoje sabemos que essa situação pode ser alterada pela tecnologia). Ao longo da história das espécies, os genótipos predominantes em determinadas populações podem vir a se alterar, através de mutações e/ou recombinações genéticas, vindo a ser afetados pelo mecanismo de seleção natural: aqueles genótipos que produzem indivíduos (fenótipos) inadaptados a seus ambientes não são perpetuados, pois esses indivíduos deixam menor número de descendentes.

Assim, ocorreria ao longo da escala de evolução das espécies uma "aprendizagem" indireta com o ambiente, onde as características de origem genética seriam selecionadas, de modo que apenas as que produzem seres adaptados aos seus respectivos ambientes seriam perpetuadas nos descendentes. Como a ordem temporal seria uma propriedade cognitiva

oriunda, ao menos em parte, do "programa" genético dos indivíduos, então sua continuidade, ao longo do tempo, estaria também submetida à prova da adaptação. Mesmo excluindo a possibilidade de sua construção pelo próprio indivíduo (nesse aspecto a concepção cognitivista se distingue da relacionalista-subjetivista), haveria uma regulação de suas propriedades por parte das propriedades dos ambientes em que seus possuidores atuam, ou seja, uma regulação das propriedades de AT pelas propriedades de DF. Conseqüentemente, uma afinidade entre, de um lado, o esquema de ordem temporal, de indivíduos cujo comportamento é controlado por um sistema nervoso, e, de outro, a direção dos processos físicos no ambiente em que atuam, poderia ser explicada de modo pragmático: qualquer inadequação entre ambos teria conduzido à inadaptação dos indivíduos, e ao previsível fracasso de suas estratégias de sobrevivência. Logo, é esperado que aquelas espécies que sobreviveram possuam esquemas temporais afinados com aquilo que ocorre em seus ambientes. Exemplos típicos desse tipo de adaptação, na biologia, são os de controle temporal "endógeno" em animais que migram ou hibernam, ou mesmo de plantas que florescem em períodos menos favoráveis para seus predadores. Como conseqüência da visão acima, as propriedades de AT, que são as propriedades dos "relógios biológicos" internos, poderiam variar de espécie para espécie, ou entre as variedades de uma mesma espécie, e poderiam ser "corrigidas" ao longo da evolução, por meio da eliminação dos genótipos que gerassem indivíduos sem as propriedades que contribuem na produção de comportamentos adaptados. No caso da hibernação, por exemplo, existe a necessidade de antecipação do início desse comportamento frente às condições climáticas, de modo que uma antecipação incorreta pode colocar o animal em sério risco de vida.

Para uma aplicação da visão "biológica", esquematicamente apresentada acima, à Filosofia da Ciência, seriam necessários diversos refinamentos. Primeiramente, devemos levar em conta que do próprio ponto de vista biológico não está correta a identificação daquilo que é *a priori* (no sentido de *inato*) com o "programa" genético. A partir do genótipo ocorre, no desenvolvimento do indivíduo, o processo epigenético, que virá a produzir o seu fenótipo (incluindo seu sistema nervoso). As regras inatas do sistema nervoso são produtos do processo epigenético, podendo não constituir mera "expressão" do "programa" genético (ver Pereira Jr. (1991) e Pereira Jr., Guimarães e Chaves Jr. (1995)).

Em segundo lugar, sabemos que o sistema cognitivo humano é muito mais suscetível de influência cultural que o das demais espécies, podendo-se questionar seriamente se no homem o esquema de ordem temporal efetivamente usado teria alguma base genética bem definida. Uma solução aceitável seria que o homem possui uma predisposição genética para a formação de um esquema temporal de coordenação de suas experiências, mas, diferentemente dos demais animais, as propriedades específicas desse esquema não são geneticamente predeterminadas, sendo possível que, devido à influência cultural, durante o processo de maturação do sistema nervoso, venham a se formar, em indivíduos de genótipos semelhantes, esquemas temporais com propriedades divergentes ou logicamente opostas entre si.

Em terceiro lugar, precisamos indagar se a história da cultura humana seguiria o mesmo mecanismo da história das espécies biológicas (e.g., com mutações e recombinações de unidades básicas, e com mecanismo de seleção que elimine os inadaptados ao ambiente natural). Podemos, evidentemente, estender a noção de "ambiente", de modo a incluir o "ambien-

te cultural”, mas isso pode estender demasiadamente a noção de “seleção”.

Finalmente, devemos questionar se o uso de um certo esquema de ordem temporal (p. ex., a "reta real") como *a priori*, na atividade científica, teria alguma correlação com a suposta regra inerente ao sistema cognitivo dos indivíduos humanos que produzem o conhecimento científico.

Apesar de não podermos dedicar a devida atenção às importantes questões expostas acima, estamos dispostos a sustentar que, mesmo após o necessário refinamento de visão "biológica" proposta, suas conseqüências de variabilidade e corrigibilidade dos esquemas *a priori* devem ser mantidas. Na ciência física em particular, um determinado esquema de ordem temporal, incluindo especificações das propriedades de AT, seria utilizado de modo *a priori* para a representação dos processos físicos, no sentido em que suas propriedades são definidas e pressupostas anteriormente a qualquer representação dos processos físicos, e seu uso é condição necessária para a elaboração dessas mesmas representações. Tal esquema foi escolhido entre outros esquemas igualmente possíveis, podendo ser corrigido, no caso de seu uso conduzir a resultados insatisfatórios (ser difícil de ser usado, gerar ambigüidade ou contradição, ou não organizar adequadamente o "conteúdo" empírico). O uso da "reta real", como esquema de coordenação das representações físicas por parte do agente cognitivo humano, tem obtido aparente sucesso por centenas de anos; sua sobrevivência ao longo da história da ciência pode ser creditada à simplicidade, facilidade de uso, coerência interna e adequação aos processos estudados. Outros esquemas seriam igualmente possíveis, como o "tempo cíclico" de alguns povos indígenas, que condiz com o tipo de organização de suas experiências, e com os tipos de processos físicos com os quais convivem; é possível, inclusive, reconstruir a mecânica clássica

ca<sup>11</sup> tomando-se como coordenada um certo tipo de tempo cíclico<sup>12</sup>. Contudo, o sucesso da "reta real", como coordenada para as representações físicas, tornou desnecessário o uso de outros esquemas temporais. Como também não se demonstrou a necessidade de que fosse corrigida, produziu-se a ilusão de que ela constituiria condição *sine qua non* para o conhecimento físico.

No nível de atividade científica, a corrigibilidade do esquema *a priori* de ordem temporal se inclui no mecanismo mais geral de regulação, a longo prazo, das pressuposições adotadas em uma ciência, por parte das teorias e experimentos realizados com base nessas mesmas pressuposições<sup>13</sup>. Em oposição aos relacionistas<sup>14</sup>, não admitimos que uma ciência construa suas pressuposições de ordem temporal a partir de seus resultados; por outro lado, admitimos que uma variedade de ordem temporal *a priori* possa ser corrigida por outra varie-

---

<sup>11</sup> Newton-Smith (1978) demonstrou a possibilidade de uma reconstrução da mecânica clássica com um tempo não contínuo. A reconstrução para um tempo cíclico é mais simples, tomando-se como base o Teorema da Recorrência de Poincaré, que postula a recorrência dos estados de um sistema físico que obedeça exclusivamente às leis mecânicas. Bastaria então estabelecer uma correlação entre a estrutura do tempo e as classes de estados recorrentes.

<sup>12</sup> Para uma crítica da noção corrente de "tempo cíclico", e sua substituição pela noção mais rigorosa de "tempo fechado" ver Newton-Smith (1981), p. 57.

<sup>13</sup> Glymour (1980) estudou exaustivamente o funcionamento desse mecanismo, no caso particular em que uma determinada hipótese é utilizada como premissa para seu próprio teste (estratégia de "bootstrapping").

<sup>14</sup> A concepção relacionalista-subjetivista também pode ser apresentada como sendo de caráter "biológico", mas, nesse caso, dependeria de uma biologia pré-mendeliana.

dade de ordem temporal *a priori*, desde que a segunda mostre maior valor pragmático que a primeira.

Enquanto coordenada utilizada para a representação científica dos fenômenos, acreditamos que o esquema temporal *a priori* estaria no nível do *entendimento*. Seguindo nesta mesma linha, Van Fraassen concebeu o tempo utilizado na física como um "esquema conceitual" não necessário (Van Fraassen (1985) pp. 95-107); situado no nível do "espaço lógico" proposto por Wittgenstein, no seu *Tractatus*. Essa concepção nos assegura as condições adequadas para utilizar uma coordenada temporal, com propriedades equivalentes à "reta real", sem sofrermos dos problemas relativos à sua construção a partir das relações físicas, e sem postularmos de início a existência de uma entidade transcendente (tempo absoluto newtoniano). Newton-Smith, embora concordando com o caráter não necessário da estrutura do tempo (Newton-Smith (1980) p. 55), ao identificar na proposta de Van Fraassen a possibilidade do tempo ser "dependente da mente" ("mind-dependent") (Newton-Smith (1980) pp. 218-221), propôs que o tempo seria um "construto teórico" ("theoretical framework"), a ser interpretado realisticamente, nos contextos em que não houver subdeterminação (Newton-Smith (1980) pp. 239-242). Concordamos com essa proposição de Newton-Smith, que evita o compromisso da adoção de um conceito wittgensteiniano, desvinculado do seu contexto filosófico original. Ressaltamos, contudo, que de nosso ponto de vista, a interpretação realista do tempo seria do tipo que anteriormente chamamos de "realismo pragmático".

## 5. ORDEM TEMPORAL E ORDEM DOS FENÔMENOS FÍSICOS EM KANT.

Ao propor a concepção cognitivista do tempo, Kant se distanciou tanto das concepções absolutistas quanto das relacionistas<sup>15</sup>. Ao lado de sua teoria do tempo, ele apresentou uma teoria, menos famosa, sobre a ordem dos fenômenos físicos, a qual pressupõe a ordem temporal, mas dela não se deriva<sup>16</sup>. De forma semelhante à nossa proposta, sua concepção também implicava na independência conceitual entre a estrutura do tempo e a estrutura dos processos físicos. Nossas divergências para com esta se situam em três pontos: o de que o esquema temporal estaria no nível do entendimento; o da variabilidade e corrigibilidade do esquema de ordem temporal, e o do caráter pragmático da exigência de afinidade entre AT e DF. Ele concebia esses tópicos de forma diferente: o esquema temporal estaria apenas no nível da sensibilidade; seria universal e necessário, como tudo o que é *a priori*; e a afinidade seria garantida pela coerência do sujeito transcendental.

Existem indicações, na Estética Transcendental, de que Kant concebia as propriedades da ordem temporal como equivalentes à da "reta real"<sup>17</sup>. Embora ele tenha aqui se pro-

---

<sup>15</sup> Citaremos a segunda edição da *Crítica da Razão Pura* (edição B), pela paginação original; quando fizermos transcrições, serão da tradução brasileira de V. Rohden e V.B. Moosburger (Kant (1983)). As críticas de Kant ao absolutismo e ao relacionismo se encontram nas páginas 56/57.

<sup>16</sup> Vide p. 233: "o tempo não pode ser percebido em si mesmo, nem em referência a ele se pode determinar, por assim dizer empiricamente no objeto, o que precede e o que sucede".

<sup>17</sup> Pág. 47: o tempo "possui uma única dimensão: diversos tempos não são simultâneos, mas sucessivos"; pág. 50: "representamos a sucessão temporal por uma linha avançada ao infinito, na qual o múltiplo perfaz uma série de uma única dimensão".

posto a expor o conceito do tempo, para ele esse conceito não seria "discursivo", posto que o tempo constituiria uma "forma pura de intuição sensível" (p. 47). Contudo, conceber que a ordem temporal tenha propriedades equivalentes à "reta real", e também que esteja no nível da sensibilidade, conduz a pelo menos dois problemas: (1) não experienciamos eventos instantâneos, mas apenas eventos que têm a duração de um certo intervalo de tempo; além disso, boa parte da física microscópica descreve processos que ocorrem em intervalos muito menores que o intervalo mínimo necessário para que uma percepção humana seja possível; (2) as operações matemáticas usuais na Física se utilizam freqüentemente do infinito temporal atual, enquanto o "infinito" da "experiência possível" kantiana é apenas o "ilimitado", relativo às operações do sujeito cognoscente (cf. pp. 47-48, e também pp. 546-551). Segue-se que, para que não precisemos renunciar às propriedades da "reta real", e, mais importante, para que façamos justiça ao uso efetivo do tempo como coordenada na ciência, que o concebamos na filosofia da ciência como esquema conceitual ou teórico, ou, na terminologia kantiana, como uma forma do entendimento. Isso evidentemente não exclui que, em outras abordagens, se considere o tempo como sendo também uma forma da sensibilidade.

Uma das dificuldades da concepção do esquema temporal como forma do entendimento consistiria na inferência de que, como tal, ele necessariamente seria objeto de experiência consciente. De nosso ponto de vista, contudo, mesmo enquanto forma do entendimento o esquema temporal não é objeto de consciência, exceto, indiretamente, para os filósofos e cientistas que o estudam. Todos aqueles que tiveram contato com a atividade científica podem perceber que conceitos como os de tempo e espaço são utilizados como pressupostos da representação científica do mundo, sem que sejam tomados

diretamente como objetos da consciência. Quando isso eventualmente é tentado, surgem as dificuldades agostinianas de se tentar expressar linguisticamente algo que *possuímos* e *usamos*, mas não dominamos no nível da consciência. Essa evidência revela que a consciência é apenas a “ponta do iceberg” dos processos mentais. Na produção dos estados de consciência entram em jogo esquemas operatórios não-conscientes, situados em níveis mais elementares da arquitetura funcional do sistema nervoso humano. O tempo seria um desses esquemas, atuante tanto na organização de percepção sensível, quanto na formação de representações teóricas do mundo. Devido à suscetibilidade da mente humana à influência cultural, ocorre o compartilhamento inter-individual das propriedades desses esquemas, mesmo sem a exposição dessas propriedades através da consciência e da linguagem pública.

Para Kant, tudo o que é *a priori* é universal e necessário; essa é uma das pedras basilares de seu sistema filosófico, já assentada logo na Introdução à *Crítica da Razão Pura* (cf. pp. 3-4). Como o tempo é uma forma *a priori*, então se infere que suas propriedades (no nosso caso, o tipo de ordem temporal) também o seriam. Uma determinada ordem temporal *a priori*, como a da “reta real”, não poderia então ser concebida como variando de um agente cognitivo para outro, ou como suscetível de correções e substituição. Porém, mesmo que levemos em conta apenas os agentes cognitivos da espécie humana, existem evidências de variabilidade e alterabilidade culturais dos esquemas temporais coordenadores da experiência, tanto em nível individual quanto em nível da “comunidade científica”. Essas evidências afetam os dois sentidos em que podemos tomar a exigência de necessidade e universalidade: o sentido em que todo agente cognitivo humano teria que adotar tal ordem temporal para que pudesse exercer sua faculdade cognitiva, e o sentido em que a experiência possível humana seria co-

ordenada por um único sistema de referência temporal. Para o primeiro caso, basta mostrar que podemos transpor nossos conhecimentos para um mundo com tempo cíclico, ou então que conhecimentos diferentes dos nossos podem ser coordenados por um tempo cíclico. No segundo caso, existem bem conhecidas dificuldades frente à Teoria da Relatividade Geral<sup>18</sup>.

No estudo dos Princípios Sintéticos *a priori*, mais precisamente nas Analogias da Experiência, encontramos uma teoria de Kant a respeito da ordem dos fenômenos físicos. A segunda analogia trata a sucessão temporal, a qual é regulada pela "lei da causalidade". Para Kant, os fenômenos se sucedem em uma relação assimétrica de causa e efeito, sendo que o critério para se determinar a direção da causalidade (qual fenômeno é a causa e qual é o efeito) não seria a própria ordem do tempo, mas o tipo de relação existente entre os fenômenos<sup>19</sup>. Contudo, a assimetria não é estabelecida pelo conteúdo perceptivo, e sim por uma regra do entendimento: o Princípio da Razão Suficiente, que mostraria as causas como condições suficientes dos efeitos, mas não os efeitos como condições suficientes das causas<sup>20</sup>. Observamos, portanto, que a teoria kantiana

---

<sup>18</sup> Ver discussão de argumento de Gödel contra o tempo universal, em Whitrow (1961), pp. 256-267.

<sup>19</sup> Sobre a assimetria na percepção e na apreensão dos fenômenos, ver p. 237 e pp. 233-234; sobre a derivação da "sucessão subjetiva" a partir de "sucessão objetiva", ver p. 238.

<sup>20</sup> Sobre a importância da regra que torna "necessária" a "ordem das percepções", ver pp. 238-239; sobre o princípio, p. 246. A ordem dos fenômenos é determinada por um princípio sintético *a priori*, aplicável mesmo quando os efeitos são temporalmente simultâneos com as causas (conforme o famoso exemplo da bola de chumbo no travesseiro, na p. 248). Aqui, falha o critério empírico para a determinação da causa, mas, mesmo assim, o princípio não deixa de se

na da ordem dos processos físicos não conduz a uma abordagem naturalista, em que DF se associasse à evolução de uma quantidade física; ela se opõe tanto ao empirismo cético de Hume, para quem a direção da causalidade se reduziria à direção do tempo<sup>21</sup>, quanto ao relacionalismo de inspiração leibniziana (de quem ele curiosamente retoma, de modo reinterpretado, o citado Princípio). Para ele, também a direção dos processos físicos é determinada por uma regra *a priori* inerente aos sistemas cognitivos (no caso, do tipo humano). Nós, por outro lado, ao adotarmos a abordagem naturalista dos processos temporais, admitimos, diferentemente, a possibilidade de uma teoria de cunho relacionalista da direção dos processos físicos, na qual DF seria dada pela evolução de uma quantidade física conhecida *a posteriori*. Trataremos desse tópico em seguida.

Segundo Mehlberg e Whitrow<sup>22</sup>, Kant teria formulado uma teoria causal do tempo. De nosso ponto de vista, essa interpretação não está correta, por duas razões. Primeiramente, se para Kant o tempo é um esquema *a priori*, então a relação fundamental de ordem temporal não poderia ser derivada das relações causais. Em segundo lugar, relembramos que a própria ordem causal é construída com base no Princípio da Ra-

---

aplicar. Nesse tipo de exemplo, a ordem causal não estabelece uma ordem *no* ou *do* tempo.

<sup>21</sup> Como se sabe, Hume negou a existência de uma "conexão necessária" entre causas e efeitos, baseada em princípios metafísicos como o Princípio da Razão Suficiente, e defendeu que os únicos vínculos entre elas seriam sua "união constante" e a anterioridade temporal das causas frente aos efeitos, conforme Hume (1973), pp. 154-158 (correspondendo aos §§ 50 a 57). Para uma breve crítica dessa posição, ver Whitrow (1961), pp. 271-272.

<sup>22</sup> Ver Mehlberg (1935), pp. 51-69 e Whitrow (1961), p.273, onde afirma que para Kant "descobrimos a ordem temporal pelo exame da ordem causal, enquanto distinta da ordem perceptual".

ção Suficiente. A ordem causal para Kant é uma ordem *entre fenômenos* e, como tal, não poderia, assim como a ordem temporal, ser dada independentemente da atividade do sujeito. Portanto, o que a Analítica Transcendental acrescenta à teoria kantiana do tempo, cujo núcleo central está na Estética, é uma teoria da ordem dos fenômenos, ou seja, a formulação de uma regra que permite estabelecer a relação de sucessão dos fenômenos, independentemente da relação de ordem temporal, epistemologicamente preexistente. Discordamos, conseqüentemente, da conclusão de Mehlberg, segundo a qual haveria três concepções do tempo em Kant, “o tempo puro, uma forma do sentido interno; o tempo subjetivo, a ordem das representações, e o tempo objetivo, a ordem dos fenômenos” (1935, p.66). Ora, nem a ordem das representações nem a ordem dos fenômenos definem um conceito de *tempo*, mas constituem meramente uma direção de ocorrência dos fenômenos. Por outro lado, concordamos com a proposição de Mehlberg de um “tempo intersubjetivo”, a qual adotamos anteriormente, e que julgamos consistir uma expansão (e não uma negação) da teoria kantiana.

Vejamos ainda como Kant coloca o problema da afinidade entre a ordem do tempo e a ordem dos fenômenos físicos, cada qual estabelecida independentemente da outra:

os fenômenos têm que determinar uns aos outros suas posições no tempo e torná-las necessárias na ordem temporal, isto é, o que sucede ou acontece tem que seguir segundo uma regra universal ao que estava contido no estado precedente. Disso resulta uma série de fenômenos que, mediante o entendimento, produz e torna necessária, na série das percepções possíveis, precisamente a mesma ordenação e interconexão

contínua encontrada a priori na forma de intuição interna (o tempo) (1978, p. 245)<sup>23</sup>.

Qual seria o fundamento da necessidade de afinidade entre a ordem do tempo e a ordem dos fenômenos? Como para Kant ambas são determinadas por regras *a priori*, julgamos que a garantia de afinidade estaria fundada na coerência do sujeito transcendental. O *problema* da afinidade emerge ao considerarmos, diferentemente de Kant, a direção dos processos físicos como questão a ser determinada *a posteriori*. Na ausência daquela garantia, a obtenção da afinidade se desloca para o campo de interação entre o agente e os processos físicos no ambiente onde ele se situa; ela deixa de ser algo necessário de modo absoluto, e adquire a forma de um imperativo pragmático, relativo à eficácia da estratégia adaptativa do agente.

## 6. A DIREÇÃO DOS PROCESSOS FÍSICOS VIA VARIAÇÃO DA ENTROPIA: REVERSIBILIDADE E IRREVERSIBILIDADE

Agentes cognitivos do tipo humano utilizam uma certa ordem temporal *a priori* para construir seu conhecimento físico, mas, após atingirem patamares superiores desse conhecimento, podem "jogar fora a escada" por alguns momentos, e tomar como objeto de conhecimento a relação DF, independentemente da relação de ordem temporal<sup>24</sup>. Constitui traço

---

<sup>23</sup> A independência lógica entre a ordem temporal e a ordem fenomênica está aqui claramente pressuposta.

<sup>24</sup> Estamos aqui nos comprometendo com a concepção realista da existência de uma direção objetiva dos processos físicos, independente da mente, construída com base na evolução de uma quantidade física, direta ou indiretamente mensurável. Nosso conhecimento de DF constitui uma abstração, baseada (indutivamente) nos dados empíricos.

marcante da "tradição boltzmanniana", e grande contribuição para a filosofia de temporalidade, o estudo da relação DF em função da variação da entropia em sistemas isolados. Boltzmann e seus seguidores adotaram uma concepção relacionalista do tempo, e também se preocuparam em estender suas conclusões sobre as propriedades de DF para AT. Embora discordando da inferência das propriedades de AT a partir de DF, consideramos plenamente válida a concepção empírica da direção dos processos físicos, no contexto de uma abordagem naturalista dos processos temporais. Desse modo, nossa visão adota, com restrições, uma das principais contribuições oferecidas por essa tradição.

Reichenbach formulou de modo claro e preciso a base para o entendimento de DF em função da entropia: "A existência de uma direção para os processos físicos é então formulada por meio de uma função de estado  $S$ , a entropia, a qual tem um determinado valor numérico para todo estado obtido, e ordena os estados físicos com números crescentes" (Reichenbach (1956), p. 50). Sem dúvida, alguém poderá argumentar em favor da consideração de outros fatores para o estabelecimento da simetria ou não-simetria de DF, além (ou ao invés) da entropia, como o fez, por exemplo, Popper (ver Popper (1956), (1965), (1972)). Contudo, para uma ordenação exequível e abrangente (aplicável a todo sistema macroscópico isolado, ou a ciclos de transformações nos quais se considera a totalidade dos sistemas interagentes como um sistema isolado), podemos argumentar que Reichenbach teria optado por um critério altamente satisfatório.

Ao estabelecer as propriedades de DF, em função da evolução da entropia, precisamos optar entre uma relação de ordem simétrica ou não simétrica (assimétrica ou anti-simétrica). Esse dilema tem sido bastante discutido por físicos e filósofos, utilizando-se de uma outra terminologia: a da re-

versibilidade ou irreversibilidade dos processos físicos. Enquanto a reversibilidade dos processos físicos seria assimilável à simetria de DF, existem dificuldades semânticas com a noção de irreversibilidade, que em algumas de suas conotações também se aproximaria da simetria de DF, diferindo da reversibilidade apenas em certas condições impostas à reversão dos processos.

Existem dois tipos de concepções da reversibilidade<sup>25</sup>, que dão origem a diferentes concepções da irreversibilidade. O primeiro tipo, que chamaremos de *idealizado*, provém de um exame exclusivo das equações de movimento, vindo a caracterizar a reversibilidade a partir de uma propriedade dessas equações, a saber, a não-invariância sob reversão temporal. O segundo tipo, que chamaremos de *empírico*, decorre de um exame do comportamento dos sistemas empíricos, submetidos não só a tais equações de movimento, como também a outras condições factuais, que codeterminam seu comportamento efetivo.

Uma crítica ao primeiro tipo de concepções foi realizado por Hollinger e Zenzen (1982, 1986). Essa crítica abrangeu dois aspectos: a ambigüidade da expressão "reversão temporal", que pode significar apenas a inversão do sentido da coordenada temporal, ou também a inversão do sinal dos valores de velocidade, produzindo diferentes resultados; e a trivialidade dessa concepção de reversibilidade, desde que todas as leis da física conhecidas são invariantes sob reversão temporal. Propomos o acréscimo de uma terceira crítica: não devemos analisar os processos físicos por intermédio das leis físicas ex-

---

<sup>25</sup> Formulações do conceito de reversibilidade podem ser encontradas em Reichenbach (1956) p. 51; Landsberg (1972) pp. 84-89 e Apêndices A e B; Sklar (1974) pp. 365-368 e 400-410; Davies (1974) pp. 31-34; Horwich (1987) pp. 51-54; Kröes (1985) pp.120-124; e Hollinger e Zenzen (1982) pp. 311-336 e (1986) pp. 60-64.

clusivamente, pois temos razões para crer que essas leis não descrevem completamente os processos empiricamente dados. Desse modo, as concepções de reversibilidade (e irreversibilidade), às quais atribuímos relevância, são as do tipo empírico, que levam em conta as condições factuais que co-determinam os processos físicos.

As concepções do tipo empírico, por sua vez, se dividem em duas: (1) aquela proposta por Hollinger e Zenzen, segundo a qual "reversibilidade" significa que os processos em ambos os sentidos temporais, permitidos pelas leis físicas, efetivamente ocorrem, no mundo empírico, enquanto "irreversibilidade" significa que, devido a razões a serem elucidadas, os processos em um determinado sentido temporal são excluídos (o que eles chamam de "irreversibilidade por exclusão"), e ocorrem apenas aqueles processos no sentido temporal oposto; (2) aquela que defendemos adiante, segundo a qual "reversibilidade" se identifica com a simetria da relação de ordem DF, e "irreversibilidade" se identifica com a anti-simetria de DF. Acreditamos que essa última seja compatível com a de Hollinger e Zenzen, com a vantagem de oferecer maior facilidade de comparação com a estrutura do tempo.

Consideramos um processo, em um sistema macroscópico isolado, como sendo reversível, se puder atingir, por mais de uma vez, estados de mesmo valor de entropia, passando por estados de valor diferente<sup>26</sup>. Para que isso ocorra, é preciso que a entropia diminua, em quantidade utilizável<sup>27</sup>.

---

<sup>26</sup> Estamos supondo, assim como fez Reichenbach, que seja possível associar, a cada macro-estado de um sistema isolado, um determinado valor de entropia, mesmo que em determinadas situações empíricas não saibamos como determinar tal valor.

<sup>27</sup> A permanência de um dado sistema, em um determinado estado, com um mesmo valor da entropia, não é suficiente para se caracterizar um processo como reversível. Esse segmento de trajetória

Essa definição pode ser estendida para os casos dos ciclos fechados de transformações, abrangendo sistemas não-isolados; o ciclo seria reversível no caso do balanço de variação de entropia poder ser de valor negativo ou nulo. Tais casos se reduzem à definição acima, ao considerarmos o conjunto de sistemas abertos participantes do ciclo como constituindo um megassistema isolado. Associando univocamente macro-estados de um sistema isolado a valores de entropia<sup>28</sup>, tomando por  $C$  o conjunto de estados possíveis do sistema, e por  $x$  e  $y$  dois estados quaisquer não sucessivos<sup>29</sup>, então, em um processo reversível,  $\exists x \exists y \{x, y \in C, (x \text{ DF } y) \rightarrow (y \text{ DF } x)\}$ . Como  $x$  e  $y$  são estados quaisquer do sistema, DF pode se aplicar potencialmente a quaisquer duplas de estados, o que nos leva a propor a equivalência do conceito de reversibilidade com a simetria de DF<sup>30</sup>.

---

pode fazer parte tanto de um processo reversível quanto de um processo irreversível (ver nossa concepção de irreversibilidade adiante).

<sup>28</sup>Essa associação não pode ser feita em nível microscópico, porque cada macro-estado corresponde a mais de um micro-estado. Mesmo do ponto de vista macroscópico, restrições extras podem ser necessárias, como a especificação do tipo de transformação que ocorre no sistema.

<sup>29</sup>A ressalva da não-sucessividade visa evitar que se considere a ocorrência de macro-estados entropicamente estacionários (repetição de um macro-estado no tempo, ou rodízio de macro-estados de mesmo valor de entropia) como suficiente para se caracterizar um processo como reversível.

<sup>30</sup>Para intervalos finitos de observação, a universalidade da propriedade de simetria de DF só é caracterizada parcialmente, o que significa que o conceito de reversibilidade é do tipo "disposicional". Contudo, do ponto de vista da totalidade dos estados em que o sistema pode se situar, a existência da simetria pode ser bem determinada.

Devemos aqui fazer uma anotação a respeito da relação entre a definição "macroscópica" de reversibilidade acima, e a reversibilidade em nível microscópico, na mecânica clássica. Cada estado microscópico é ali caracterizado, em determinado instante, pela posição e momento de suas partículas, sendo que o momento, não ocorrendo variação de massa, depende apenas da velocidade. Dado um certo estado macroscópico  $K$ , produzido por um estado microscópico  $k$ , e dado o micro-estado  $k'$ , no qual as partículas ocupam as mesmas posições que em  $k$ , porém com as direções de velocidade invertidas, deveríamos considerar, frente à definição de processo reversível, o macro-estado produzido por  $k'$  como sendo, para os nossos propósitos, equivalente ao macro-estado  $K$ ? Como estamos interessados em uma concepção entrópica da reversibilidade, e dado que a entropia é definida com relação aos macro-estados, então julgamos que a resposta deva ser afirmativa, pois, caso contrário, apenas sistemas de comportamento microscópico periódico poderiam ser considerados como sendo reversíveis.

Ao analisar os processos entropicamente irreversíveis, em sistemas isolados, observamos primeiramente que não podem ser associados à assimetria de DF, pela razão que ao atingir o estado de equilíbrio, com entropia máxima (ou em suas proximidades), o sistema percorre uma série de macro-estados muito próximos, quanto ao valor da entropia. De um ponto de vista empírico, nada nos impede de supor que, em determinadas circunstâncias, um sistema no equilíbrio permaneça em um mesmo macro-estado ao longo do tempo. Desse modo, se mantivermos nossa associação unívoca entre macro-estados e esses valores, o estado estacionário estará "fisicamente direcionado para si mesmo", ou seja, DF será reflexiva para ele. Restam-nos então duas alternativas para expressar a irreversibilidade através de propriedades de DF: por sua anti-simetria, ou por sua simetria com restrições.

A anti-simetria de DF expressa uma concepção que intitulamos de *irreversibilidade estrita*, e que é formulada da seguinte maneira: em um sistema isolado, a entropia nunca diminui em quantidade utilizável para a realização do trabalho. Assim, para um sistema isolado, com C estados possíveis, se  $\forall x \forall y \{x, y \in C, x \neq y, (x \text{ DF } y) \rightarrow \neg (y \text{ DF } x)\}$ , então os processos que nele ocorrem são estritamente irreversíveis.

A segunda concepção de irreversibilidade é a propugnada pela tradição boltzmaniana, à qual chamaremos de *irreversibilidade estatística*. Para entender seu significado e motivação, precisamos nos reportar aos trabalhos de Reichenbach e Grünbaum, onde, devido à sua orientação relacionalista-reducionista, o problema da ordem dos processos físicos se confundiu com o da ordem temporal. Reichenbach dividiu o problema do estabelecimento da ordem temporal em duas partes: a determinação de uma "ordem linear" adirecional<sup>31</sup>, e a determinação da "direção do tempo". Inicialmente ele lançou mão de um critério empírico de identificação da causalidade, o "método da marca"<sup>32</sup>, que fundamentaria uma teoria causal do tempo<sup>33</sup>. Em sua obra póstuma, *The Direction of Time*, veio a optar pela construção de uma ordem linear simétrica, a partir das leis mecânicas, que são invariantes sob reversão temporal. Essa ordem é estabelecida pela relação "entre" ("between"), que é basicamente a mesma utilizada posterior-

---

<sup>31</sup> Lembremos aqui que, devido à sua concepção relacionalista do tempo, eles não interpretam a assimetria da ordem numérica da "reta real" como sendo uma assimetria do tempo; pelo contrário, Grünbaum a considera algo "extrínseco" ao tempo.

<sup>32</sup> Ver referências sobre esses trabalhos em Reichenbach (1956), p. 25. O trabalho mais difundido é a *Filosofia do Espaço e do Tempo*, de 1928 (ver pp. 135-138).

<sup>33</sup> Essa abordagem de Reichenbach foi decisivamente criticada em Grünbaum (1972), pp. 180-187.

mente por Grünbaum<sup>34</sup>. À ordem temporal simétrica eles propuseram acrescentar, através de consideração do comportamento da entropia nos sistemas isolados de uma determinada região espacial, uma "direção" ou "anisotropia" dos processos físicos (para eles, também do tempo). A restrição da "direção" ou "anisotropia" do tempo a uma região espacial deriva não só da simetria da ordem temporal anteriormente estabelecida, através da invariância temporal das equações mecânicas, como também, e principalmente, de sua concepção probabilística da evolução da entropia. Nesta concepção, escolhendo-se aleatoriamente o estado inicial, a probabilidade teórica<sup>35</sup> de diminuição de entropia, de um sistema isolado qualquer, é igual à probabilidade de seu aumento. Uma alta improbabilidade de ocorrência de diminuição da entropia só ocorrerá se os estados iniciais se restringirem às regiões espaciais nas quais os (macro) estados iniciais dos sistemas isolados ali presentes forem de baixa entropia.

A dificuldade que se apresenta, na visão acima, é que tal "direção" ou "anisotropia" não se identifica com uma assimetria ou anti-simetria de DF (nem de AT), porque só tem valor regional e, além disso, em sua hipotética totalidade DF (ou AT) seria(m) simétrica(s). Para ilustrar o que entendem pelos conceitos de "direção" e "anisotropia", tanto Reichenbach quanto Grünbaum (ver Reichenbach (1956), p. 26, e Grün-

---

<sup>34</sup> Ver Reichenbach (1956) pp. 32-42, e Grünbaum (1972) pp. 193-197. Uma diferença entre ambas as abordagens é que Grünbaum define sua relação de "o-betweenness" a partir da noção de "genidentidade", enquanto Reichenbach se referiu à discussão sobre a causalidade "aberta", que sucedeu a seu estudo da relação "between".

<sup>35</sup> Conforme a "Curva de Entropia", que descreve o comportamento dessa quantidade em um sistema isolado em tempo infinito, ou, em uma outra interpretação, descreve o comportamento médio da entropia para um número infinito de sistemas isolados.

baum (1972), pp. 209-210) falam de uma "diferença estrutural" entre o sentido de "antes" e o de "depois"; contudo, não podemos concordar em chamar de "estrutural" a uma diferença que só tem valor regional, e, além disso, está baseada apenas em razões estatísticas. Devido a esses dois aspectos, uma relação DF, derivada das leis mecânicas e da concepção probabilística de evolução da entropia, não pode ser considerada como assimétrica ou anti-simétrica, pois não podemos usar o quantificador universal na sua definição. Em realidade, essa relação DF é *estruturalmente simétrica*, ao que se acrescentam restrições informais, correspondendo a diferentes regiões, que limitam a atualização da potencialidade de ocorrência de tal simetria. Conseqüentemente, se tivermos uma determinada região em estado global de baixa entropia, para dois estados  $a$  e  $b$  de um sistema isolado, pertencente a essa região, sendo  $S_a$  (entropia de  $a$ )  $>$   $S_b$  (entropia de  $b$ ), então  $\text{PROB}(b \text{ DF } a) \gg \text{PROB}(a \text{ DF } b)$ ; já em uma região em estado global de alta entropia, para o mesmo sistema  $\text{PROB}(b \text{ DF } a) \ll \text{PROB}(a \text{ DF } b)$ . A "anisotropia" consiste então em uma relação de ordem simétrica afetada regionalmente por tais diferenças de probabilidades: nas regiões de baixa entropia ( $b \text{ DF } a$ ) predomina sobre ( $a \text{ DF } b$ ), e nas regiões de alta entropia ( $a \text{ DF } b$ ) predomina sobre ( $b \text{ DF } a$ ).

As diferentes concepções da irreversibilidade estão ligadas a diferentes explicações científicas, que dão suporte às propostas propriedades de DF. A concepção estatística da irreversibilidade foi certamente inspirada pela explicação probabilística<sup>36</sup> da evolução da entropia, antecipada por Boltzmann desde 1877. Do mesmo modo, a concepção estrita se associa às primeiras formulações da Segunda Lei da Termodinâmica, de

---

<sup>36</sup> Estamos supondo que realmente existam explicações probabilísticas, como foi defendido por Salmon (1984).

Clausius e Thomson, e ao Teorema-H de Boltzmann de 1872, onde a ocorrência de diminuição da entropia, macroscopicamente significativa, era julgada impossível.

Julgamos que a importante distinção usada por Grünbaum, entre irreversibilidade nomológica e irreversibilidade "de fato"<sup>37</sup>, diga respeito aos *tipos de explicação* científica do fenômeno de irreversibilidade macroscópica, e não propriamente aos *tipos de irreversibilidade*. Para ele, a irreversibilidade nomológica seria conferida aos processos físicos por uma lei científica (de caráter universal) que fosse temporalmente não-invariante, como a Segunda Lei da Termodinâmica aparentou ser; e a irreversibilidade "de fato" seria conferida por aspectos factuais de determinada região do universo, como no caso típico das condições iniciais de baixa entropia, no caso da explicação probabilística de evolução de entropia. Em ambos os casos ele se refere ao tipo de explicação que dá apoio a uma determinada concepção da irreversibilidade, e não às concepções em si mesmas (o que demandaria uma consideração de suas propriedades, como fizemos anteriormente).

Na classificação dos tipos de explicação da irreversibilidade acima referida, usualmente não se levam em conta duas outras concepções da irreversibilidade 'de fato', que historicamente desempenharam papel central nas discussões sobre o tema. Trata-se dos dois tipos de explicações que classificamos como funcionais: a explicação funcional-determinista e a explicação funcional-estocástica. Em ambos os casos, a explicação é feita através de leis físicas (temporalmente invariantes) mais um princípio extra. Da conjunção entre as leis e o princípio se define uma *função* (no sentido matemático, e não no biológico, do termo) de variáveis microscópicas, que tem como ima-

---

<sup>37</sup> A distinção foi feita originalmente por H. Mehlberg, em trabalho citado e ampliado por Grünbaum (1972), pp. 210-211.

gem a descrição do comportamento macroscopicamente irreversível. O princípio extra pode ter caráter universal ou local<sup>38</sup>; e a função pode ser determinista ou estocástica, o que distingue entre os dois tipos de explicações funcionais.

A tentativa de formulação de uma função, que desse conta da irreversibilidade termodinâmica, foi celebrizada no famoso "Teorema-H" de Boltzmann, de 1872. Além dessa tentativa, devemos lembrar que existem outras abordagens de caráter funcional da irreversibilidade, que precisam ser reconhecidas como tais: as de Popper, Prigogine, Horwich e outros (vide Popper (1956) e (1965), Prigogine (1981) e Horwich (1987)).

Conforme o tipo de princípio extra adotado, a explicação funcional pode se adequar tanto à concepção estrita de irreversibilidade (como foi o caso da versão original do "Teorema-H") quanto à concepção estatística (como foi o caso da reformulação deste "Teorema", por Boltzmann, em 1896, quando atribuiu valor meramente probabilístico ao princípio extra). Para se explicar a irreversibilidade estrita, pensamos ser mais adequada uma função determinista, baseada em um princípio de caráter universal. Com uma função estocástica certamente só daremos conta da irreversibilidade em sua concepção estatística; porém, não podemos descartar gratuitamente a possibilidade de uma explicação funcional estocástica da irreversibilidade estrita.

---

<sup>38</sup> A conjugação do factual com o universal é bem reconhecida na física atual, nas chamadas "constantes universais", das quais a mais notória é a velocidade máxima de deslocamento no espaço, que seria a da luz. Desse modo, a ciência da natureza teria fugido do veredicto de Kant, de que o caráter de universalidade apenas poderia ser conferido por aquilo que é *a priori*.

Para uma visão esquemática das diferentes concepções da irreversibilidade, e respectivas explicações aptas a satisfazê-las, observemos o seguinte quadro:

TIPO DE DF	TIPO DE IRREVERSIBILIDADE	TIPO DE EXPLICAÇÃO
Simétrica com restrições	estatística	probabilística função estocástica
Anti-simétrica	estrita	função determinista nomológica

A explicação nomológica seria apta a dar conta da irreversibilidade estrita, mas tal opção não se concretizou devido à ausência de leis da natureza não-invariantes temporalmente, capazes de desempenhar o papel. Desse modo, a esperança em se conseguir essa explicação repousa principalmente nas teorias funcionais deterministas.

## 7. A AFINIDADE ENTRE A ORDEM TEMPORAL E A ORDEM DOS PROCESSOS FÍSICOS

Nossa suposição de independência conceitual entre estrutura do tempo e estrutura dos processos físicos, que rejeita as visões tradicionais sobre a relação entre tempo e processos temporais, levou-nos a colocar um problema novo, o da aparente afinidade entre ambos, e a apresentar uma alternativa pragmática de sua solução.

As visões tradicionais resumem-se em duas: aquela para a qual a estrutura do tempo determina a estrutura dos processos físicos (sem ser determinada por ela), e aquela para a qual a estrutura dos processos físicos determina a estrutura do tempo (sem ser determinada por ela). Entre os defensores da primeira enquadram-se não só os absolutistas, como também os adeptos da concepção humeana da causalidade; e entre os defensores da segunda estão todos os que adotam posições relacionistas de diversos matizes, na filosofia do tempo. Como existiria, em ambos os casos, dependência de uma estrutura frente à outra, então não haveria o problema de afinidade que nos colocamos.

Nossa suposição de independência conceitual permite, em vantagem, evitar dois falsos problemas da filosofia da temporalidade: (1) a inversão da ordem do tempo implicaria na inversão dos processos físicos?; (2) a inversão da ordem dos processos físicos implicaria na inversão do tempo? Nos dois casos a resposta seria, no plano conceitual, obviamente negativa.

Nas ações de um agente cognitivo, que coordena suas representações dos processos temporais, utilizando-se de um determinado esquema do tempo, e que necessita que esse último seja adequado frente à estrutura dos processos no mundo onde age, se coloca uma exigência pragmática, de afinidade entre a relação AT que ele adota, e a relação DF do mundo onde atua (tal como ele o representa, em suas propriedades não-temporais).

Devemos, portanto, começar por indagar sobre o significado da afinidade entre as relações AT e DF. A relação AT é única, para cada agente cognitivo (ou, pelo menos, para o que costumamos entender por um agente cognitivo "normal", dentro do padrão humano). Já a relação DF é relativa ao tipo de sistema, ao tipo de processo, e ao modo de sua representação pelo agente cognitivo. Em princípio, não é impossível que

um agente cognitivo construa uma única topologia das propriedades não temporais de todos os processos com os quais se depara regularmente em seu ambiente, e estude as propriedades da relação DF desse conjunto. Nossa abordagem opta por uma alternativa bem mais limitada, na qual o agente cognitivo se identificaria com parte da comunidade de cientistas da natureza; os sistemas em questão seriam os sistemas macroscópicos quase-isolados<sup>39</sup>; os tipos de processos seriam aqueles empiricamente estudados pela Termodinâmica; e a (única) propriedade não-temporal representada pelo agente cognitivo seria a entropia. Nessa alternativa simplificada, o problema da afinidade se colocaria como o da semelhança, ou até de isomorfismo, entre  $n$ -uplas do domínio I, ordenadas por certa relação AT, e  $n$ -uplas do domínio E, ordenadas por uma certa relação DF, que seguiria a evolução da entropia.

Dado que em um determinado instante temporal, e para um mesmo observador, podem ocorrer diversos estados, em sistemas físicos diferentes, uma formulação mais precisa da afinidade se referiria à semelhança, ou isomorfismo, entre  $n$ -uplas de I e grupos de  $n$ -uplas de E (para cada  $n$ -upla de I haveria um grupo de  $n$ -uplas de E)<sup>40</sup>.

---

<sup>39</sup> A partir desse momento, nos referiremos aos sistemas quase-isolados, ao invés dos isolados, pois, caso contrário, o processo de sua observação não seria possível. Contudo, supomos, metodologicamente, que a observação não interfira na evolução desses sistemas.

<sup>40</sup> Da síntese entre os dois domínios, que só ocorre no nível pragmático, emergem importantes categorias da filosofia da temporalidade: a da *ordem temporal de eventos ou estados* (isto é, a localização desses eventos ou estados no esquema temporal do agente cognitivo), e a de *duração temporal de eventos ou estados* (isto é, o intervalo de tempo ocupado por um evento ou um estado, que se repete por um contínuo de instantes, no esquema temporal). Da segunda categoria se deriva o problema *temporal*, o qual, enquanto problema de ordem pragmática, é relativo da *métrica* ao tipo de observador considerado.

Existem aspectos, contudo, em que a afinidade entre AT e DF não seria tão estreita, a ponto de constituir um isomorfismo. Por exemplo, se adotarmos a assimetria de AT e a anti-simetria de DF (sem que esta última satisfaça à assimetria), não haveria isomorfismo entre ambas. Que tipo de similaridade, então, seria de se esperar? Usualmente os estados físicos são considerados como instantâneos, ou seja, ao se representar a evolução de um sistema físico, cada instante temporal é associado com um único estado desse sistema (também podemos associar um mesmo instante a estados de sistemas diferentes, expressando a simultaneidade desses estados). A função "um instante, um estado" degeneraria no caso de AT simétrica e DF não-simétrica (um instante seria associado a mais de um estado do mesmo sistema), e deixaria de existir no caso de AT não-simétrica e DF simétrica (um certo estado seria associado a mais de um instante, sem que isso implicasse em uma permanência no tempo do referido estado). Tais combinações são logicamente possíveis, embora conduzam, no nível pragmático, a uma complicação no universo representacional do agente cognitivo, e conseqüente perda de eficiência em sua ação.

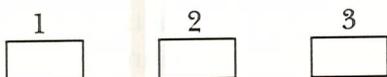
Na metodologia científica, o imperativo pragmático de eficiência se traduz em princípios metodológicos, como os de simplicidade, economia de meios, coerência e adequabilidade empírica<sup>41</sup>. No que tange à afinidade entre AT e DF, esses princípios nos impelem a uma disjunção exclusiva: ou AT e DF são ambas simétricas, ou são ambas não-simétricas. Na história da filosofia do tempo, podemos notar que tal imperativo

---

<sup>41</sup> Por "adequabilidade empírica" entendemos não só a "adequação empírica" ressaltada por Van Fraassen (1980) pp. 12-13, como também a capacidade de se obter tal adequação da forma mais eficiente.

é quase sempre seguido, mesmo que não explicitado<sup>42</sup>. A disjunção apresentada acima nos conduz à escolha de um ou outro par de relações: ou o par AT e DF simétricas, ou o par AT e DF não-simétricas<sup>43</sup>.

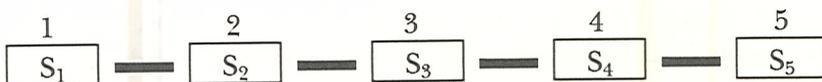
Para ilustrar o recobrimento de relações DF por relações AT, utilizaremos o recurso gráfico de representação de AT como uma seqüência de lacunas com índices relativos aos instantes, e DF como seqüências de letras com índices relativos aos estados físicos, possuindo valores de entropia, que são colocados no interior das lacunas:



equivale a  $I_1$  AT  $I_2$  AT  $I_3$ ,

$S_1$  —  $S_2$  —  $S_3$  equivale a  $S_1$  DF  $S_2$  DF  $S_3$ .

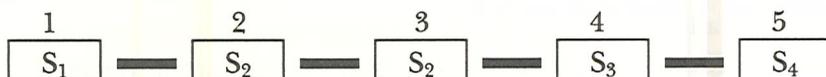
Uma seqüência de estados, ordenada por DF e recoberta por AT, pode ser ilustrada da seguinte maneira:



<sup>42</sup> Uma exceção é Horwich (1987) que sustentou a existência de assimetrias no tempo (pp. 72-74), e a simetria do próprio tempo (pp. 54 ss.).

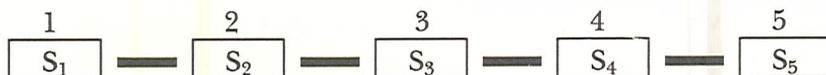
<sup>43</sup> Pela não-simetria de AT entendemos principalmente sua assimetria, visto que a anti-simetria ensejaria uma concepção do tempo bastante incomum.

No caso acima, trata-se de seqüência com AT e DF assimétricas. Uma seqüência com AT assimétrica e DF anti-simétrica seria a seguinte:

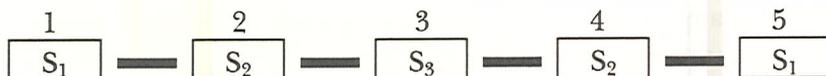


Ambos os exemplos acima satisfazem à disjunção exclusiva anteriormente citada. Exemplos que não a satisfazem seriam:

1)



2)



Os dois últimos exemplos também ilustram situações de inadaptação dos agentes cognitivos, no que se refere à sua coordenação temporal.

A tarefa de correlacionar as propriedades de AT com as de DF seria extremamente fácil, se houvesse um consenso a respeito de quais são suas respectivas propriedades. As proposições a respeito das propriedades de AT sofrem de um problema de verificação, que afeta os termos teóricos utilizados na linguagem científica, o problema da *subdeterminação* das proposições teóricas, que consiste, em sua versão mais drástica, no

fato de que tanto os modelos em que AT é simétrica, quanto os modelos em que é assimétrica, poderiam igualmente satisfazer ao conjunto de proposições que descrevem todos os fatos da experiência possível. A hipótese da subdeterminação das propriedades do tempo frente à experiência possível, em cujo favor já foram levantados bons argumentos<sup>44</sup>, seria, de nosso ponto de vista, uma consequência natural da adoção da suposição de independência conceitual entre estrutura do tempo e estrutura dos processos físicos. Contudo, uma importante ressalva deve ser feita: tal subdeterminação não significa que a escolha por uma ou outra propriedade de AT seja indiferente, quanto às suas consequências cognitivas e comportamentais do agente cognitivo. Usando uma noção proposta por Van Fraassen<sup>45</sup>, podemos escolher entre teorias subdeterminadas com base nas virtudes pragmáticas que uma delas possa possuir, em detrimento das demais. Parece-nos que a assimetria de AT possui uma virtude pragmática incontestável, que a torna preferível: ela evita os problemas de "inversão" e do "retorno" do tempo, que, no caso contrário (simetria de AT), seriam possíveis a qualquer momento, e teriam que ser indicados e previstos. Julgamos que a consagração secular do esquema da "reta real", como coordenada para a representação científica dos processos físicos, seria sinal do valor pragmático da assimetria de AT.

A maior virtude pragmática da assimetria de AT decorre do fato de que apenas nos deparamos, em nossa experi-

---

<sup>44</sup>Para uma discussão extensa do tema, ver Newton-Smith (1978) e (1980).

<sup>45</sup>Van Fraassen (1980), pp. 87-95. Não pretendemos aqui adotar a visão de Van Fraassen de que a escolha entre teorias subdeterminadas seria exclusivamente em função de seus valores pragmáticos; nossa posição sobre o assunto está desenvolvida em Pereira Jr. e French (1990).

ência, com processos fisicamente irreversíveis. Mas, pode-se argumentar, se as propriedades estruturais de DF também fossem empiricamente subdeterminadas, então a totalidade dos fenômenos que experienciamos poderia ser acomodada tanto em uma DF anti-simétrica quanto em uma DF simétrica. Com efeito, a atração filosófica da tradição boltzmanniana foi a da acomodação, da experiência da irreversibilidade, em uma visão de mundo onde ainda prosperava na base a concepção de simetria temporal dos processos físicos, oriunda da física clássica. A hipótese de subdeterminação das propriedades de DF contaria então em favor da concepção por ela proposta, na qual uma simetria estrutural do tempo e dos processos físicos convive com uma "direção" ou "anisotropia" regional, que supostamente daria conta do fenômeno da irreversibilidade que experienciamos.

Contudo, nossa concepção empírica de DF implica que o domínio da experiência possível constitui base suficiente para uma decisão sobre as propriedades de DF. Examinando a experiência humana passada e atual, não hesitaríamos em defender que a decisão deva ser pela anti-simetria de DF, ou seja, parece-nos estar acima de qualquer dúvida que vivemos em um mundo de processos estritamente irreversíveis. Mais que isso, nenhuma evidência aponta no sentido de que, na vastidão do universo ainda não observada, ou não observável, as coisas se passem de modo diferente. Supomos, por conseguinte, que todo o universo é caracterizado pela irreversibilidade estrita, ao contrário de tradição boltzmanniana, para a qual apenas as raríssimas regiões em estado inicial de baixa entropia teriam tal característica. Para argumentar em favor da adoção da não-simetria de DF, devemos passar por revisão crítica os principais trabalhos da tradição boltzmanniana, onde a concepção de irreversibilidade estrita foi brevemente colocada, no "Teorema-

H" de 1872, logo vindo a ser substituída pela concepção estatística<sup>46</sup>.

## BIBLIOGRAFIA

- BOLTZMANN, L. (1872). Further Studies in the Thermal Equilibrium of Gas Molecules, em BRUSH, S. (Ed.). *Kinetic Theory*, Vol. 1, pp. 88-175.
- . (1877). On the Relation of a General Mechanical Theorem to the Second Law of Thermodynamics, em BRUSH, S. (Ed.). *Kinetic Theory*, Vol. 2, pp. 188-193.
- . (1896a). *Lectures on Gas Theory*, Trad. S. Brush, (Berkeley/Los Angeles, University of California Press), 1964.
- . (1896b). Reply to Zermelo's Remarks on the Theory of Heat, em BRUSH, S. (Ed.). *Kinetic Theory*, Vol. 2, pp. 218-228.
- . (1897). On Zermelo's Paper "On the Mechanical Explanation of Irreversible Processes", em BRUSH, S. (Ed.). *Kinetic Theory*, Vol. 2, pp. 238-245.
- . (1902). "Model", em BOLTZMANN, L.. *Theoretical Physics and Philosophical Problems*, trad. P. Foulkes, (Boston, D. Reidel), pp. 213-222.

---

<sup>46</sup> Tal exame foi realizado em Pereira Jr. (1994) caps. 2, 3 e 4.

- . (1905). Populäre Schriften, em BOLTZMANN, L. *Theoretical Physics and Philosophical Problems*, pp. 1-200.
- BRUSH, S. (Ed.) (1966). *Kinetic Theory, Vol. 2: Irreversible Processes*, Trad. S. Brush, (Oxford/London, Pergamon Press).
- . (1976). *The Kind of Motion We Call Heat. A History of the Kinetic Theory of Gases in the 19th Century: Book 1: Physics and the Atomists; Book 2: Statistical Physics and Irreversible Processes*, (Amsterdam/New York, North-Holland).
- . (1981). Changes in the Concept of Time During the Second Scientific Revolution, em SEXL e BLACKMORE (Eds.). *Ludwig Boltzmann Gesamtausgabe*, pp. 305-328.
- BUNGE, M. (1972). Time Asymmetry, Time Reversal and Irreversibility, em FRASER, HABER e MULLER (Eds.). *The Study of Time*, pp. 122-130.
- CARNAP, R. (1969). *The Logical Structure of the World*, Trad. Rolf George, (Berkeley/Los Angeles, University of California Press).
- CHRISTENSEN, F. (1987). Time's Error: Is Time's Asymmetry Extrinsic?, em *Erkenntnis* n° 26, pp. 231-248.
- COHEN, E.G. and THIRRING, W. (Eds.) (1973). *The Boltzmann Equation*, (Wien/ New York, Springer-Verlag).
- DAVIES, P.C.W. (1974). *The Physics of Time Asymmetry*, (London, Surrey University Press/Intertext).

- DENBIGH, K.G. (1972). In the Defense of the Direction of Time, em FRASER, HABER e MULLER (Eds.). *The Study of Time*, pp. 148-158.
- . (1989a). Note on Entropy, Disorder and Disorganization, em *British Journal for the Philosophy Science*, n° 40, pp. 323-332.
- . (1989b). The Many Faces of Irreversibility, em *British Journal for the Philosophy Science*, n° 40, pp. 501-518.
- DENBIGH, K.G. & DENBIGH, J.S. (1985). *Entropy in Relation to Incomplete Knowledge*, (London, Cambridge University Press).
- EARMAN, J. (1974). An Attempt to Add a Little Direction to the 'Problem of the Direction of Time', em *Philosophy of Science*, n° 41, pp. 15-47.
- . (1986). The Problem of Irreversibility, em FINE, A. e MACHAMER, P. (Eds.). *Philosophy of Science Association*, 1986, Vol. 2, pp. 226-233.
- EHRENFEST, P. e EHRENFEST, T. (1912). *The Conceptual Foundations of the Statistical Approach in Mechanics*, Trad. Michael Moravcsik, (Ithaca and London, Cornell University Press, 1959).
- GAL-OR, B. (1970). On the Universal Foundations of Thermodynamics, em STUART, GAL-OR e BRAINARD, (Eds.) (1970), pp. 445-462.

- . (1975). Philosophical Problems in Thermodynamics, em KUBÁT e ZEMAN (Eds.) (1975), pp. 211-231.
- GHINS, M. (1986). Popper on the Arrow of Time, em *Manuscripto*, Vol. 9, n° 2, pp. 77-93.
- GLANSDORFF, P. (1987). Irreversibility in Macroscopic Physics, em *Foundations of Physics*, Vol. 17, n° 7, pp. 653-666.
- GLYMOUR, C. (1980). *Theory and Evidence* (Princeton, Princeton University Press).
- GOLD, T. (Ed.) (1967). *The Nature of Time*, (Ithaca and London, Cornell University Press).
- GRÜNBAUM, A. (1967). *Modern Science and Zeno's Paradoxes*, (Middletown, Connecticut, Wesleyan University Press).
- . (1972). *Philosophical Problems of Space and Time*, 2nd ed., (Dodrecht/Boston, D. Reidel).
- . (1974). Popper's Views on the Arrow of Time, em SCHILPP, P.A. (Ed.) (1974), pp. 775-795.
- GUÉROULT, M. (1929). *La Philosophie Transcendentale de Salomon Maïmon*, (Paris, Félix Alcan).
- ter HAAR, D. (1955). Foundations of Statistical Mechanics, em *Rev. Mod. Physics*, n° 27, pp. 289-338.
- HABER, F., FRASER, T., MULLER, G. (Eds.) (1972). *The Study of Time*, (Wien/New York, Springer-Verlag).

- HEALEY, R. (Ed.) (1981). *Reduction, Time and Reality*, (London, Cambridge University Press).
- HOLLINGER, H., ZENZEN, M. (1982). An Interpretation of Macroscopic Irreversibility Within the Newtonian Framework, em *Philosophy of Science*, nº 49, pp. 309-354.
- . (1986). *The Nature of Irreversibility: A Study of Its Dynamics and Physical Origins*, (Dordrecht/Boston, D. Reidel).
- HORWICH, P. (1987). *Asymmetries in Time*, (Cambridge MA/London, MIT Press).
- HUME, D. (1973). *Investigação Sobre o Entendimento Humano*, tradução de Leonel Vallandro em *Os Pensadores*, vol. 22. (São Paulo, Ed. Abril).
- KANT, E. (1978). *Crítica da Razão Pura*, tradução de Valério Rohden e Udo Moosburguer em *Os Pensadores*, vol. 25. (São Paulo, Ed. Abril).
- KRÖES, P. (1985). *Time: Its Structure and Role in Physical Theories*, (Dordrecht/Boston, D. Reidel).
- KUBÁT, L., ZEMAN, J. (Eds.) (1975). *Entropy and Information in Science and Philosophy*, (Amsterdam/Oxford, Elsevier).
- LACEY, H. M. (1972). *A Linguagem do Espaço e do Tempo*, (São Paulo, Perspectiva).
- LANDSBERG, P. (1972). Time in Statistical Physics and Special Relativity, em HABER, FRASER E MÜLLER (1972), pp. 59-109.

- LAYZER, D. (1975). The Arrow of Time, em *Scientific American*, nº 234, pp. 56-69.
- LUCAS, J. (1973). *A Treatise on Time and Space*, (London, Methuen).
- McCALL, S. (1976). Objective Time Flow, em *Philosophy of Science*, nº 43, pp. 337-362.
- MEHLBERG, H. (1935). *Time, Causality and the Quantum Theory*. Vol. 1: *Essay on the Causal Theory of Time*, (Boston, D. Reidel).
- MELLOR, D. (1981). *Real Time*, (London, Cambridge University Press).
- NEWTON-SMITH, W. (1978). The Underdetermination of Theory by Data, *Proceedings of the Aristotelian Society*, Supplementary Vol. 52, pp. 71-91.
- . (1980). *The Structure of Time*, (London/Boston, Routledge and Kegan Paul).
- PEREIRA JR, A. (1989). A Percepção de Tempo em Husserl, *Trans-Form-Ação*, V. 13, pp. 73-84.
- . (1990). Estatuto Biológico do Processamento de Informação Mental, *Trans-Form-Ação*, Vol. 14, pp. 139-153.
- . (1994). *Tempo e Irreversibilidade: uma Crítica da Tradição Boltzmanniana*, Tese de Doutorado, Campinas, UNICAMP.

- PEREIRA JR, A. e FRENCH, S. (1990). Metaphysics, Pragmatic Truth and the Undertermination of Theories, *Diálogos* 56, Ano XXV, pp. 37-68.
- PEREIRA JR, A., GUIMARÃES, R., CHAVES JR, J. (1995). Auto-Organização na Biologia: Nível Ontogenético, a sair em DEBRUN, M., GONZALES, M.E., PESSOA JR, O. (Eds.) *Anais dos Seminários de Auto-Organização*, Campinas, CLEHC/ UNICAMP (no prelo).
- POPPER, K. (1956). The Arrow of Time, em *Nature*, Vol. 177 .
- . (1965). Time's Arrow and Entropy, em *Nature*, Vol. 207.
- . (1972). *Autobiografia Intelectual*. São Paulo, Cultrix (do original *Unended Quest*, (La Salle, Open Court)).
- PRIGOGINE, I. (1981) *From Being to Becoming: Time and Complexity in Physical Sciences*, (San Francisco, Freeman and Co.).
- PRIGOGINE, I & STENGERS, I. (1990). *Entre o Tempo e a Eternidade*, (Lisboa, Gradiva).
- REICHENBACH, H. (1956). *The Direction of Time*, (Berkeley/Los Angeles, University of California Press).
- ROSENFELD, L. (1972). General Introduction to Irreversibility, em GARRIDO, L.. *Irreversibility in the Many-Body Problem*. (New-York/London, Plenum Press).

- SALMON, W. (1977). The Philosophy of Hans Reichenbach, em *Synthese*, nº 34, pp. 5-88.
- SALMON, W. (1984). *Scientific Explanation and the Causal Structure of the World*. (Princeton, Princeton University Press).
- SCHILPP, P.A. (Ed.) (1974). *The Philosophy of Karl Popper*, (Open Court, La Salle Illinois).
- SKLAR, L. (1974). *Space, Time and Space-Time*, (Berkeley/Los Angeles, University of California Press).
- . (1986). The Elusive Object of Desire: In Pursuit of the Kinetic Equations and the Second Law, em FINE, A e MACHAMER, P. (Eds.). *Philosophy of Science Association*, Vol. 2, pp. 209-225.
- STUART, E., GAL-OR, G., BRAINARD, A. (Eds.) (1970). *A Critical Review of Thermodynamics*, (Baltimore, Mono Books Corporation).
- SUPPES, P. (1960). *Axiomatic Set Theory*, (Stanford, Stanford University Press).
- TOLMAN, R. (1938). *The Principles of Statistical Mechanics*, (Oxford, Oxford University Press).
- VAN FRAASSEN, B. (1980). *The Scientific Image*, (Oxford, Clarendon Press).
- . (1985). *An Introduction to the Philosophy of Time and Space*, (New York, Columbia University Press).

- WEINGARD, R. (1977). Space-Time and the Direction of Time, em *Noûs*, n° 11, pp. 119-132.
- WHITROW, G. (1961). *The Natural Philosophy of Time*, (New York, Harper).
- WU, T. (1969). On the Nature of Theories of Irreversible Processes, em *International Journal of Theoretical Physics*, Vol. 2, n° 4, pp. 325-343.
- ZERMELO, E. (1896a). On a Theorem of Dynamics and the Mechanical Theory of Heat, em BRUSH, S. (Ed.) (1966), Vol. 2, pp. 208-217.
- . (1896b). On the Mechanical Explanation of Irreversible Processes, em BRUSH, S. (Ed.) (1966), Vol. 2, pp. 229-237.