

COLABORADORES

CARLO BORGHI

Físico teórico, sacerdote, antigo professor de Física na Universidade de Milão, contratado pela UFPe. para lecionar Mecânica Quântica, chefia atualmente a Seção de Física do Instituto de Física e Matemática.

GILBERTO FREYRE

Sociólogo-Antropólogo, escritor, Doutor *Honoris Causa* pelas Universidades de Columbia, Sussex, Coimbra, e da Sorbonne. Professor Honorário da UFPe.

MANUEL CORREIA DE ANDRADE

Professor catedrático de Geografia Econômica da Faculdade de Ciências Econômicas da UFPe. Cursos de especialização nas Universidades do Rio de Janeiro e de Paris (Sorbonne). Autor de numerosos livros sobre história social e econômica.

LEÔNIDAS CÂMARA

Crítico literário, professor de Teoria da Literatura na Faculdade de Filosofia da Universidade Católica; professor de Literatura Brasileira na Faculdade de Filosofia do Recife.

RENATO CARNEIRO CAMPOS

Professor de Literatura Portuguesa na Faculdade de Filosofia da Universidade Federal de Pernambuco, autor do livro *Arte, Sociedade e Região*, editado pela Universidade Federal da Bahia.

CÉSAR LEAL

Poeta e crítico de poesia. Professor de Teoria da Literatura da Faculdade de Filosofia da Universidade Federal de Pernambuco. Diretor do suplemento literário do "Diário de Pernambuco".

CARLOS FREDERICO MACIEL

Professor de Filosofia na Faculdade de Filosofia da Universidade Federal de Pernambuco. Membro do Conselho Estadual de Educação. Diretor da Divisão de Pesquisas do Centro de Pesquisas Educacionais.

ALBERTO CUNHA MELO

Poeta da novíssima geração, cujos poemas começaram a aparecer no Suplemento Literário do "Diário de Pernambuco" no início deste ano. Sua poesia se caracteriza por uma contensão de linguagem que muito o aproxima de João Cabral de Melo Neto.

PESSOA DE MORAIS

Professor de Sociologia da Faculdade de Filosofia da Universidade Federal de Pernambuco. Membro titular da Associação Latino Americana de Sociologia. Autor do livro — *Sociologia da Revolução Brasileira*.

A EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE CAUSALIDADE NA CIÊNCIA MODERNA

CARLO BORGHI

I. — O que distingue uma interpretação mágica da Natureza, de uma interpretação racionalizada da mesma Natureza, não é a introdução do que genericamente chamaremos de correlações causais, mas somente certas limitações a serem impostas àquelas correlações. A busca das correlações causais foi, para o homem, a busca dos meios para sobreviver, antes de ser a busca da explicação dos fenômenos naturais. Foi por êle de importância vital saber em quais circunstâncias e com quais meios certos fenômenos acontecem, ou se pode impedir que aconteçam, ou se pode fazer com que aconteçam. A verificação de que tais circunstâncias existem, espontânea ou artificialmente, é o primeiro passo na descoberta da causalidade, isto é o fato de que há acontecimentos que só ocorrem se outros eventos acontecem antes daqueles: êsses são chamados causas e aquêles efeitos. O segundo passo consiste na descoberta de que não é suficiente que as "causas" aconteçam antes dos "efeitos", pois é necessário que as causas sejam proporcionadas aos efeitos. A noite vem sempre depois do dia, ou vice-versa, mas, nem por isso se pode dizer que o dia é causa da noite. Aí temos correlações de acontecimentos que podem ser observadas em dois sentidos contrários (dia gera noite, ou noite gera dia), e portanto não é uma correlação causal, pois essa deve ter sempre um sentido único, da causa para o efeito, e não vice-versa.

Uma correlação que não seja de sentido único não é "proporcionada", e portanto não é causal. Todavia, a unicidade do sentido da evolução dos acontecimentos é uma condição neces-

sária mas não suficiente para definir as correlações causais. É justamente o que se acha necessário acrescentar, além da unicidade do sentido das sequências causais, o elemento que separa as concepções mágicas da Natureza, das concepções mais ou menos racionalizadas dela. Para dar um exemplo paradoxal, é a diferença que existe entre o apontar o dedo indicador gritando "bang", e apontar um Colt 32 apertando o gatilho: o primeiro gesto é evidentemente desproporcionado para obter um efeito comparável com o do segundo, a menos que funcione algo de "mágico".

É claro que, assim como a temos expressada até aqui, a diferença entre *mágico* e *racionalizado* é muito vaga. E foi mais ou menos vaga ao longo do desenvolver-se do pensamento científico. As tentativas para sair deste sentido vago foram duas: a classificação das causas, e a representação quantitativa das correlações causais.

2. — A classificação das causas é o primeiro esforço para atender o que realmente acontece, quando uma causa gera um efeito, analisando as diferentes contribuições ou componentes que se podem observar na sequência de acontecimentos de sentido único e entre si "proporcionados". Tomando o mesmo exemplo paradoxal, que foi dado acima, e excluindo o caso "mágico", é claro que a contribuição da pólvora para dar velocidade à bala é diferente da contribuição do cano do revólver, como também da contribuição do gatilho que faz o pino bater na espoleta e a contribuição do dedo que aperta o gatilho, e enfim a contribuição da intenção do tal que move o dedo por algum entendimento dêle próprio. É evidente que tôdas essas diferentes contribuições podem ser distinguidas como pertencentes a três classes, que chamaremos sempre de causas com apropriados adjetivos, embora que assim a palavra "causa" tome significado obviamente diferentes. As três classes foram chamadas: causa eficiente, causa instrumental, causa final ou intencional. Para obter um determinado efeito será necessária uma causa eficiente "proporcionada" (por ex. não substituirei a pólvora com farinha), aplicada por meio de um instrumento "proporcionado" (por ex. não colocarei a bala dentro de um violão, mas sim dentro de um revolver com gatilho que se pode

apertar), para obter um resultado "proporcionado" à minha intenção (por ex. não atirarei uma bala para subir num ônibus).

Essa classificação (com alguns pormenores secundários, como o das condições "sine quibus non"), é pouco mais do que intuitiva. Para ter uma interpretação mais profunda do processo da causação, foram introduzidas oportunas hipóteses, muitas das quais ainda sobrevivem mesmo na linguagem científica mais sofisticada de hoje em dia, embora que talvez um pouco escondidas em baixo de formulações menos ingênuas do que as antigas. As interpretações clássicas das correlações causais podem ser reunidas em três classes.

(1) *A hipótese da concordância*, como a que foi emitida por Leibniz, consiste em admitir que as sequências de acontecimentos que se supõem sequências causais são na realidade "predeterminadas", muito embora elas apareçam "como se" aí existisse realmente uma correlação causal. É evidente nesta hipótese a admissão de uma única causa, que é a predeterminação, que substitue tôdas as outras. E é também evidente a extraordinária arbitrariedade desta hipótese. Todavia, o método para descrever as sequências causais por meio de um certo número de "como se" ainda subsiste na nomenclatura e nos costumes científicos, começando com Newton que descreve as interações gravitacionais dizendo que é "amquam si" ou "como se", as massas se atraem com uma força proporcional etc., etc. Não pretendemos, porém, dizer que a introdução dos "como se" nas descrições causais da natureza, seja ligada à aceitação de uma teoria de concordância mas somente que há uma ligação histórica entre os "como se" e as teorias de concordância.

(II) *A hipótese categórica transcendental*, como a que foi emitida por Kant e pelo sem fim de filosofias que desceram dêle, consiste em admitir que as correlações causais pertencem ao oceano fenomênico, isto é das coisas que a razão gera em si mesma, sem nenhuma ligação necessária para com o ainda mais hipotético oceano noumênico. Como bem é conhecido, esta posição extremamente subjetivista, na sua forma pura ou nas derivações idealísticas e fenomenologistas, não teve praticamente impacto nenhum sobre as que usamos chamar de ciências, tanto mais porque os homens de ciência têm o velho vício de entender somente as coisas claras. Portanto achamos que estas

correntes filosóficas não interferiram na evolução do conceito científico das correlações causais.

(III) *A hipótese metafísica*, que é substancialmente a aristotélica com tôdas as inúmeras derivações dela, interpreta a causação como o fluxo de alguma coisa que passa da causa para o efeito, eventualmente subindo uma transformação ou readaptação ao efeito a ser obtido. A hipótese consiste em interpretar a estrutura de cada coisa como sendo a mistura de tudo o que a coisa pode ser com tudo o que a mesma coisa é de fato, e êsses dois elementos “metafísicos” que constituem a substância de cada coisa tomam o nome de “potência” e de “ato”. A causação é a transição de uma potência para um ato no sistema causa-efeito, que se opera quando oportunas circunstâncias tiram todos os impedimentos que constroem como uma barreira entre a potência e o ato, impedindo que uma certa coisa seja logo tudo o que a potência dela importaria. Os conceitos contidos nesta hipótese, e que de uma ou de outra forma permaneceram em outras teorias comumente aceitas nas ciências até hoje, são os seguintes: (a) o que constitui o efeito era já contido de alguma forma na causa antes da causação; (b) a causação consiste numa troca e numa transformação desta em alguma coisa, enquanto ela passa da causa para o efeito. Nas filosofias onde tem sentido uma interpretação metafísica, esta “alguma coisa” que passa transformando-se da causa para o efeito é interpretada como sendo “estados diferentes do ser”, ou mais grosseiramente como um refluxo de ser da causa para o efeito. Mas, pelo que concerne às ciências, acontece que mesmo a palavra “metafísica” é cuidadosamente excluída da linguagem ou dos pensamentos (fenômeno que acontece também em outros casos, como a famosa “prudery” que impede a um físico respeitável pronunciar a palavra “étere cósmico”). Todavia, substituindo outros conceitos ao conceito de “ser”, as duas proposições acima sintetizadas são bastante facilmente reconhecíveis em famosos e importantes métodos usados pelas ciências, como o teorema da energia total, e as ambivalentes transformações das energias cinéticas e potenciais. (Note-se que no caso da energia potencial foi conservado mesmo o nome de “potência” que com aquela forma de energia tem uma estreita ligação).

3. — Desde que, ainda no tempo de Galileu, as ciências começaram aquêlo desenvolvimento ainda não concluído e o começaram de maneira sempre mais independente (e às vezes em conflito) em relação ao que pròpriamente é filosofia, essas ciências herdaram daqueles filósofos a necessidade de descrever casualmente a natureza e também (pelo menos até um certo ponto) a linguagem já estabelecida em tôrno dêsse problema, assim como as diferentes tentativas de classificar e interpretar os diferentes tipos de causalidade. É necessário dizer que, no âmbito das ciências, se achou desnecessário considerar outros tipos de causalidade, a não ser a das causas eficientes, sendo que os outros tipos foram julgados simplesmente como não sendo causas pròpriamente ditas.

A razão desta drástica limitação do espectro das causas está na descoberta dos princípios conservativos que definem, parcialmente, a causalidade eficiente, e que podem, fàcilmente, ser expressados com métodos matemáticos de grande e inesgotável poder heurístico, enquanto as outras “causas” não são atingidas pelos princípios conservativos, e portanto não podem ser teorizadas pelo instrumento matemático, e termina ficando no domínio, sempre mais desmoralizado, das “expressões” literárias sem nenhum poder heurístico, isto é sem poder prever fenômenos e planejar experimentos, e em definitiva sem “valor científico”. Tudo isso será melhor entendido quando no próximo parágrafo explicarmos o que são os princípios conservativos. Todavia, pelo menos algumas vezes, seria necessário voltar a tomar em consideração não somente as causas eficientes, mas também as causas instrumentais, para evitar algumas confusões e conclusões apressadas, por exemplo a que tende a fazer coincidir o fenômeno “vida” com a complexidade das moléculas que são o instrumento da vida, o que seria como dizer que o tempo é um produto dos relógios suíços.

4. — A estruturação causal das ciências coincide com a formação da Mecânica e da Termodinâmica, com todos os ramos de ciências conexas com elas, inclusive a Eletrodinâmica, a ótica física, a Física atômica e a nuclear, e a Química Física, e essa estruturação fixou-se com a descoberta dos invariantes físicos, que historicamente e conceptualmente são conexas com

uma variante não metafísica da hipótese do ato e da potência, isto é com uma teoria onde, em lugar do “ser” inobservável, são substituídas quantidades que podem ser medidas, não somente observadas, e cujas transformações descrevem as sequências causais. Com efeito, depois de umas incertezas iniciais (veja-se por exemplo a famosa controvérsia entre Leibniz e Newton sobre os conceitos de energia e de quantidade de movimento) foi observado que, definindo como *sistema isolado* um conjunto de objetos que têm ligação entre si mas não com o restante do Universo, existem algumas quantidades rigorosamente definidas em termos tecnicamente exatos e reconhecíveis, cujo valor total dentro do sistema isolado permanece constante, quaisquer que sejam as transformações às quais o sistema está submetido.

Estas quantidades, cujo valor total não muda dentro dum sistema isolado, são chamadas *invariantes* (dinâmicos) do sistema. Êsses invariantes, como a experiência ensina, são cinco:

(I) *A massa*, isto é o coeficiente de proporcionalidade entre uma força e a aceleração que essa força imprime a um determinado objeto. Com uma certa reminiscência metafísica, a massa foi entendida como sendo uma hipotética “quantidade de matéria”. Mas esta definição não é aceitável porque não é experimentalmente observável. Uma justa compreensão da massa houve com a Relatividade, ao ser a massa identificada com uma forma de energia, (naturalmente, a menos de uma constante multiplicadora, que é o quadrado da velocidade da luz).

(II) *A energia total contida* no sistema isolado, definindo a energia total como a *soma de todas as energias* cinéticas (ou de movimento) e as energias potenciais (ou de posição) contidas no sistema isolado. Cada objeto de massa tem uma energia cinética $\frac{1}{2}mv^2$ quando tem uma velocidade v . O calor é uma forma de energia que é devida às energias cinéticas de todas as moléculas de um corpo. Por sua vez, um corpo pode ter uma energia potencial, somente porque ocupa uma certa posição relativamente a outros corpos (como uma pedra no cume de um morro de onde ela “pode” cair) ou porque tem uma certa estrutura em se mesma (como uma mola comprimida,

que “pode” se expandir, ou um gás comprimido que “pode” se dilatar). A energia hidroelétrica, a energia química da hulha, a energia nuclear, são formas de energia potencial. Observe-se que a energia cinética sozinha não é um invariante, assim como não o é a energia potencial sozinha: o invariante é somente as somas das duas energias em relação ao mesmo sistema isolado.

(III) *A quantidade de movimento total* do sistema isolado, sendo que a quantidade de movimento de um corpo de massa m e de velocidade v é o produto mv , mas tomado em consideração o fato de que a velocidade é um vetor, isto é implica também uma direção além do seu próprio valor. A variação da quantidade de movimento é a definição e a medida das forças que operam sobre um corpo. A quantidade total de movimento é a soma vetorial de todas as quantidades de movimento do sistema isolado.

(IV) *O momento da quantidade de movimento* de um corpo sujeito a forças centrais é também um invariante, e isso representa a famosa *lei da áreas* das órbitas keplereanas, pois êste momento é medido (a menos de um fator $1/2$) pela área varrida na unidade de tempo pelo raio vetor do corpo em movimento.

(V) *A carga elétrica* contida no sistema isolado é também um invariante, que de certa maneira pode ser comparado com o da energia, pois a carga elétrica é coligada à chamada self-energia das partículas com carga elétrica.

5. Utilizando a introdução dos invariantes, as correlações causais que acontecem dentro de um sistema isolado, isto é, entre as parcelas de que o sistema isolado, é constituído, podem ser definidas da maneira seguinte: as correlações causais são re-distribuições dos invariantes do sistema isolado que acontecem de maneira que o valor total dos invariantes permanece constante, e que a entropia do sistema isolado cresça (ou pelo menos não diminua). Essa definição, ou descrição, da causalidade num sistema isolado merece algumas elucidaciones, que aqui damos.

(I) Chamaremos de *físico* um sistema onde é possível

definir e observar os invariantes acima mencionados. Então a causação descrita aqui refere-se somente ao que acontece num sistema físico, e não diz nada para os casos hipotéticos onde não seja possível definir êsses invariantes, ou os invariantes sejam diferentes.

(II) As redistribuições dos invariantes acontecem por meio de *deslocamentos* das quantidades (cujo valor total é invariante) dentro da geometria e nas dimensões onde o sistema físico isolado é definido. Por exemplo as massas serão deslocadas de lugar; as energias potenciais serão transformadas em cinéticas ou vice-versa, etc. Todos os deslocamentos necessários e suficientes para determinar exatamente as transformações do sistema isolado constituem os chamados "*graus de liberdade*" do sistema em questão (onde a palavra "liberdade" nada tem a ver com a Liberdade, obviamente!)

(III) A condição que a soma total dos invariantes é constante corresponde à definição dos invariantes, e nada acresce ao que já foi dito. Com uma fórmula famosa, de Lavoisier, essa condição, chamada também 1.º princípio de termodinâmica, se expressa dizendo que "nada se cria, nada se destroe, tudo se transforma", num sistema físico, ou também, de outra maneira, "cada forma de energia tende a transformar-se em calor".

(IV) A conservação dos invariantes massa, energia e carga elétrica, é uma constatação experimental, não é fruto de nenhuma "demonstração" puramente lógica. Ao invés, a conservação da quantidade de movimento e do momento da sua quantidade, é consequência lógica da definição de força como variação no tempo da quantidade de movimento. Não há nenhum experimento que, entre os limites dos erros experimentais, ponha em dúvida a conservação de massa, energia e carga elétrica, mesmo quando somente uma única partícula elementar está envolvida (pois com os modernos métodos se pode observar e medir o que acontece, mesmo a uma só partícula elementar).

(V) Nem tôdas as redistribuições dos invariantes são possíveis, mas somente as que obedecem a certas limitações, que no conjunto formam o chamado 2.º princípio de termodinâmica, ou princípio da entropia: Também essas limitações, nas suas formas mais simples e gerais, são de origem puramente experi-

mental, e não fruto de "demonstração" puramente lógica. Essas constatações experimentais são por exemplo as seguintes: o calor não passa "espontaneamente" (ou sem trabalho) de um corpo frio para um corpo quente; as energias tendem a se distribuir com uniformidade em todo o sistema isolado; e assim por diante. Isso é o que se pretende dizer quando se afirma que a termodinâmica é baseada sobre certos axiomas (veja por ex. Luiz Barros Freire, Bases para uma Axiomática da Termodinâmica, Série Textos de Física do Inst. Fis. e Matem. da Univ. de Recife 1961). Essas "tendências" dos sistemas para a nívelação ou degradação das energias são codificadas nas definições das forças conservativas (como devidas às distribuições das energias na geometria do sistema, isto é como "menos o gradiente da energia potencial", com as duas possíveis formulações, no formalismo da equação de Lagrange e no das equações canônicas de Hamilton; veja por ex. C. Borghi, Formalismo Lagrangeano-hamiltoneano, Textos de Física do Inst. Fís. e Mat. da U.R., 1962).

(VI) As limitações que devem ser impostas às redistribuições dos invariantes podem ser descritas de maneira concentrada por duas vias, as duas sendo diferentes mas equivalentes definições de uma mesma quantidade física, chamada *entropia*. A primeira via, devida a Clausius, introduz a entropia como sendo o produto de $1/T$, isto é do inverso da temperatura "absoluta" multiplicado pelas variações da quantidade de calor que acompanham as transformações do sistema isolado ou de uma parcela dêle. O fator $1/T$ na realidade é um "fator integrador", pois a variação do calor não é diferencial exata. Mas o que importa é que, por via analítica, Clausius demonstrou que as transformações compatíveis com os axiomas da termodinâmica são aquelas para as quais a soma de todos os valores da entropia, que acompanham as transformações mesmas, ou é nula ou é positiva. É costuma se dizer que a entropia do sistema isolado só pode crescer. Embora que, analiticamente, esta descrição é um instrumento importante. Por exemplo, através do que se chama o "rendimento" das transformações termodinâmicas. Todavia esta maneira de representar as redistribuições dos invariantes não diz quase nada à imaginação.

(VII) A entropia pode ser representada de outra maneira, indicada por Boltzmann, tomando em conta justamente o fato de que a causação física é uma redistribuição de invariantes. Com efeito, cada distribuição desses invariantes define o que chamaremos um "estado" do sistema isolado. É possível pensar que cada estado possa ser realizado em diferentes maneiras que não são distinguíveis, isto é são *equivalentes*. Se pensarmos que os sistemas físicos são a soma de muitíssimas pequenas partículas (átomos ou moléculas ou grupos de moléculas, etc.), ver-se-á que podemos tomar o exemplo de uma companhia de soldados que podem realizar a mesma "formação" em muitas maneiras diferentes, trocando de lugar entre si um certo número de soldados (ou a todos êles). Se conseguimos enumerar o número W de maneira com que uma certa distribuição de invariantes pode ser realizada de maneira equivalente, então com Boltzmann pode-se demonstrar que a entropia S é função deste número W , isto é $S = K \log W$, onde K é uma constante, chamada justamente constante de Boltzmann. A condição de que a entropia deve crescer, nas transformações dos sistemas físicos, significa que elas se desenvolvem de maneira a atingir estados que podem ser realizados em um número crescente de maneiras, permanecendo constante o valor total dos invariantes. Isto se torna possível por duas vias: ou o número de partículas contidas no sistema aumenta, ou as energias contidas no sistema ficam se nivelando. A primeira via é a que se chama dissociação exotérmica das moléculas do sistema, e a segunda é a degradação das energias. Pela primeira via o sistema físico tende a ser composto de moléculas sempre menos complexas, até que isso seja possível exotérmicamente, ou em caso contrário se formam tôdas as possíveis moléculas complexas cuja formação é exotérmica. Pela segunda via o sistema tende à "morte entrópica" onde não seja mais possível nenhum trabalho, por falta de níveis de energia. Todavia, também depois da morte entrópica, um sistema físico isolado pode ter reviviscências "locais" por causa de flutuações estatísticas que podem casualmente provocar sempre mais improváveis desníveis de energia.

6. — Uma observação importante deve ser feita neste

ponto, e será feita usando a linguagem de Boltzmann para descrever os desenvolvimentos dos estados físicos. Assim como é somente pela experiência que se estabelece o esquema do desenvolvimento entrópico visto acima, com as duas tendências de que temos falado, de dissociação exotérmica e degradação das energias, da mesma maneira a experiência nos diz que se observa também uma *outra* termodinâmica, que podemos caracterizar pela tendência a uma associação de moléculas em moléculas sempre mais complexas, associação que é endotérmica (isto consome calor, não o produz) e que se realiza às despesas de calor obtido nivelando energias, isto é dissociando ou associando exotérmicamente *outras* moléculas. Quanto maior, e quanto mais "especializada", é a complexidade das moléculas, tanto menor é o número de maneira com que as mesmas moléculas constituintes podem ser agrupadas. Isso significa que neste conjunto observável de desenvolvimentos, a entropia no sentido de Boltzmann tende a diminuir, ou, como foi sugerido por L. Fantappiè e por E. Schrodinger: para êsses objetos de observação a entropia não é $S = k \log W$, mas sim $S = -k \log W$, o que faz um abismo de diferenças. É bem conhecido que os objetos aos quais nos referimos são os corpos vivos. Não queremos aqui tratar deste problema fundamental, mas somente queremos lembrar o que dissemos antes, ou seja, que a complexidade das moléculas aparece como causa instrumental, e não como definição de vida, porque uma molécula complexa não é necessariamente vivente. Além disso, é preciso acrescentar que o mundo dos seres vivos apresenta a possibilidade de nele serem definidos os mesmos invariantes físicos, porquanto concerne à produção do calor e das outras energias de que êles necessitam, mas até agora não se encontrou a possibilidade de definir algum invariante ligado ao que propriamente é vivente ou que difere do não vivente (por ex. não se vê nenhuma maneira de definir um princípio de conservação da vida).

7. — Chamaremos de *determinismo* a causalidade do tipo físico acima definida. A causalidade "diferente" corpos vivos, embora que física, não é determinística, porque a lei de entropia não é a mesma. Para distinguí-la do determinismo

chama-la-emos de *finalismo* (biológico), sem insistir sobre os aspectos antropomórficos desta palavra. Uma propriedade importante do determinismo é a pela qual as leis determinísticas pertencem a um grupo, isto é somando ou juntando ou compondo ou arrumando em conjuntos químicos ou mecânicos diferentes objetos, em número qualquer, que obedecem ao determinismo, o resultado é ainda um objeto que obedece ao mesmo determinismo físico. Isso não acontece necessariamente para um conjunto de objetos “vivos”, pois para sobreviver muitas vezes os objetos vivos exigem ser “isolados” em relação aos outros seres vivos, e, assim, nem tem sentido, muitas vezes, “compor seres vivos”, embora isso muitas outras vezes aconteça, como no caso das células que compõem os corpos dos metazoos e metáfitos. Portanto, as leis físicas fazem necessariamente grupo, mas as leis biológicas não o fazem necessariamente. Também essa é uma característica que separa profundamente as duas físicas diferentes, definidas pelos *duos* diferentes segundos princípios de termodinâmica. Por isso aparece como estranha a idéia de uma transição “espontânea” de uma física determinística para uma física finalística, que seria obtida justamente por meio de moléculas sempre mais complicadas assim como seria esperança vã a de obter um número negativo somando um sem número de números positivos. Em lugar de uma contraditória “*reductio ad unum*”, parece que, do ponto de vista da metodologia científica, a única coisa a fazer neste problema é aceitar a *coexistência de facto de duas físicas independentes no mesmo Universo*, sendo que, se pensarmos um pouco, nenhuma das duas tem uma existência menos misteriosa ou “arbitrária” do que a outra, pois a existência de ambas as duas é por nós conhecida somente por meio da experiência.

8. — Quanto ao *número dos invariantes* físicos que são necessários para a descrição do mundo físico, parece que ele não será maior do que cinco. Pierre Curie encontrou um princípio de conservação das simetrias nas interações físicas, limitadamente as simetrias comuns seja a causa seja ao efeito, mas ele não aparece como necessário para a descrição causal do mundo físico. Por outro lado, existem outras maneiras para representar os mesmos princípios conservativos dos invariantes,

como o teorema de Liouville sobre a invariância da densidade no espaço das fases, (veja C. Borghi, *Formalismo*, § 35). Mas essas maneiras não acrescentam nada de conceitualmente novo. Outro problema, que é ainda bastante discutido, é o que concerne à *paridade*, que é uma simetria espacial e cuja conservação parece não ser constantemente respeitada, segundo Lee e Yang. Mas trata-se de assunto que deixa intacto o grupo de invariantes já conhecido, e não será mais tratado aqui.

9. — *O princípio de conservação da massa e da energia* foi, por um lado, simplificado pela Teoria da Relatividade, mas de outro lado foi sujeito a algumas críticas, que vale a pena examinar brevemente. Na Relatividade, de A. Einstein, encontra-se que, em consequência dos postulados fundamentais que distinguem a cinemática relativística da cinemática galileiana, a massa não é uma constante, a não ser aproximadamente para as baixas velocidades, mas depende da velocidade (relativa) do corpo, e também encontra-se que para fazer a massa variar é necessário atuar sobre o corpo um trabalho, de modo que a massa mesma pode-se considerar como energia armazenada no corpo, ou como podemos dizer a massa (com o fator c^2) é uma forma de energia potencial, pois o trabalho armazenado nela pode ser restituído sob a forma de outras energias com oportunos processos (como se realiza por ex. na energia atômica). Desta maneira vê-se que não é mais necessário distinguir os princípios conservativos de massa e energia, embora que talvez isso seja útil do ponto de vista da comodidade dos cálculos. Quanto às críticas a propósito destes princípios de conservação, elas saíram de dois lados, completamente diferentes entre si, como agora veremos.

(I) *O problema do neutrino* nasceu para dar uma maneira destinada a “salvar” o princípio de conservação da massa e da energia. Com efeito, (veja por ex. C. Borghi, *Introdução à Física Atômica e Nuclear*, Textos de Física do Inst. Fis. Mat. da Univ. do Recife, 1964, parágrafo 11, seção 3) em todas as transformações radioativas “beta” observa-se que aqueles princípios conservativos são notados somente quando os eletrons saem com a energia máxima, do espectro deles, mas para todas as energias menores de que a máxima, tem-se uma parcela de

energia que “desaparece”. Essa energia que desaparece, como foi sugerido por Pauli e Fermi, é absorvida por uma enigmática radiação de corpúsculos chamados neutrinos, cuja existência foi depois confirmada como necessária para explicar um bocado de fenômenos. Portanto o negócio do neutrino não é uma crise dos ditos princípios de conservação, mas seria melhor dizer que é uma confirmação dos mesmos.

(II) A chamada teoria cosmológica de F. Hoyle e outros, ou *teoria da criação contínua*, implica uma negação do princípio da conservação da massa (veja por ex. F. Hoyle, *Frontiers of Astronomy*, Signet Science-Library, N.Y. 1955, especialmente o cap. 18-19-20 e também F. Hoyle, *The Nature of the Universe*, Oxford, Bladell, 1960). Para chegar a eliminar o “incômodo” resultado segundo o qual o Universo teve um início cuja data pode ser experimentalmente determinada, F. Hoyle e outros propuseram uma teoria que teria explicado algumas das constatações experimentais (astrofísicas) sem portanto ter a necessidade de admitir um “início do Universo”. Esta teoria consiste em admitir (a) que a velocidade de recessão da matéria no Universo (a célebre velocidade de fuga das Galáxias observada por Hubble, depois de ter sido prevista pela Relatividade Geral) pode crescer linearmente até a velocidades maiores do que a da luz; (b) que há uma pequena violação do princípio da conservação da massa, no sentido de admitir que existe na matéria um hipotético “campo de criação” pelo qual algo como um átomo de hidrogênio é criado cada ano em cada ano luz cúbico de espaço Universo. É claro que esta segunda hipótese nem se pode provar nem se pode confutar diretamente enquanto é muito além da exatidão que se pode alcançar nas medidas. Pelo contrário, a primeira hipótese (que o mesmo Hoyle reconhece indispensável) é teoricamente absurda pela Relatividade, e experimentalmente é contrária a todos os experimentos com que se mostra que, a velocidade da luz é inviolável. Poderíamos dizer que uma teoria que exige como preço a eliminação da Relatividade e do princípio de conservação de massa, exige um preço alto demais, mas temos o argumento muito mais válido, que a teoria contrária à de Hoyle, a chamada teoria da “grande explosão inicial do Universo”, ou do “big bang”,

encontrou, mesmo recentemente, duas provas experimentais decisivas que acabam com a teoria de Hoyle. As provas são da descoberta do grupo experimental da Bell, que detectou o “barulho de fundo de comprimento de onda 10 cm” que chega de todo o Universo, e que fôra previsto há poucos anos por Dick, como sendo a remanescência muito fria (pelo fato da expansão do Universo) do gigantesco relâmpago inicial do “big bang”; e também a descoberta dos “quasars” que são explosões que envolvem inteiros grupos de galáxias, e que estão a distâncias da ordem de grandeza exigido pela “Metade do Universo”, e portanto são eco do “big bang” ou das explosões sucessivas a êle. Acrescentando que esta teoria não implica o alto preço exigido pela teoria de Hoyle, podemos concluir que o fracasso da teoria do “campo de criação” é o fim de um episódio de fanatismo.

10. — Aquela profunda e estendida revolução científica que foi a Mecânica quântica nas suas diferentes formulações, acarretou também algumas inovações na maneira científica de entender a causação física, que são as seguintes:

(I) *Crítica do conceito de “presente”*. Quando se diz que os invariantes têm valores que, num dado sistema isolado, são constantes em cada instante de tempo, se pressupõe que o “instante” seja um tempo bem determinado. Pois bem, na mecânica quântica isso é impossível, pela que se chama quarta relação de incerteza de Heisenberg, quando temos uma troca de energia, isto é quando há uma causação física. Como foi dito elegantemente por E. Fermi, um sistema pode dispôr não somente da energia presente, mas também pode tomar emprestada uma energia do futuro, a condição de restituí-la logo. Isso, aparentemente, importaria numa incerteza da energia, devida à quarta relação de Heisenberg. Todavia, analisando bem o problema, vê-se que não é assim. Com efeito, se vê que as relações de incertezas de Heisenberg (transformadas numa mecânica quântica onde os observáveis são representados por operadores) tornam-se certas equações entre operadores (chamadas “regras de comutações”), e que essas equações têm como consequência a quantização das quantidades que são causalmente trocadas entre as partes de um sistema que está causal-

mente se desenvolvendo. Portanto a crítica ao conceito de presente é na realidade o fato que as redistribuições de invariantes acontecem de maneira quantizada, e não de maneira contínua.

(II) *Crítica do conceito de "futuro"*. As mesmas equações simbólicas de Heisenberg das quais temos falado têm uma outra interpretação, isto é: quando há uma troca de invariantes entre as partes de um sistema, significa que essas partes, enquanto observáveis, não são contemporâneas ou simultâneas. Isso acarreta a consequência que a distribuição dos acontecimentos causalmente ligados entre si, sobre aquela dimensão que chamamos de "tempo", é possível porque as trocas de energia etc. são quantizadas. A quantização é consequência da "incerteza" de Heisenberg, e a dimensão temporal das sequências causais é consequência da quantização, portanto o nosso Universo tem a correnteza do tempo porque é um Universo quantizado. Em relação ao tempo, o efeito é, no futuro, relativamente à causa. Portanto as condições limitativas que impõem a direção das transferências de invariantes no sentido da entropia crescendo são as causas do fato que o tempo viaja, e por sinal corre, numa direção só, que é futuro. Mas logo encontramos duas dificuldades. Uma desce da existência de partículas estranhas, entre as chamadas partículas elementares, que parecem permitir uma descrição coerente só quando se admitir que o "futuro" delas é o "passado" de todo o restante do Universo. Trata-se das "antipartículas". Não discutiremos aqui este problema, que é o da antimatéria. Uma outra dificuldade desce do fato de que a entropia negativa dos corpos físicos vivos acarretaria um tempo de sentido contrário ao da matéria não vivente. Na realidade, o que se observa é que o tempo para a vida tem uma significação diferente do que para a matéria não vivente, sendo esta diferença coligada a experiência da duração, do ritmo biológico, do tempo subjetivo. Também esses problemas não serão discutidos mais extensivamente aqui, pois achamos suficiente mostrar quantas zonas de sombra ainda subsistem na nossa "ciência". A essas zonas de sombra acrescentaremos o até agora insolúvel problema da "unidirecionalidade do tempo", cuja direção foge a qualquer contrôle.

(III) *Estrutura espectral das correlações causais*. Uma

afirmação aparentemente óbvia é que a uma determinada causa, em determinadas circunstâncias, deve corresponder um só determinado efeito. Esta presumida unicidade do efeito foi já uma vez submetida à crítica pela interpretação estatística da segunda lei de termodinâmica. Se a lei de entropia é uma lei estatística, é claro que o efeito do estado presente de um sistema bastante grande ou do Universo inteiro (porque as estatísticas perdem sentido sem a presença de grandes números de acontecimentos elementares), poderá ser escolhido entre todos os estados "não absurdos porém possíveis embora que talvez muito improváveis" em que os invariantes podem ser redistribuídos. A lei de entropia diz então que o desenvolvimento do sistema se realizará na direção do estado mais provável, sem eliminar a possibilidade dos outros (que, voltamos a dizer, não são estados absurdos). Não obstante a natureza um pouco impressionante desta afirmação, é claro que nunca teremos a possibilidade de controlá-la, porque o futuro do Universo é na realidade sempre único, e nêle nós vivemos sem poder simultaneamente ou independentemente viver num outro possível Universo que não se realizou. A direção na qual se encontram todos os "únicos" Universos que se realizam é o "futuro". Esta descrição pode ser aceita sem modificar a definição de causalidade como redistribuição dos invariantes.

Mas uma outra crítica ao presumido princípio de unicidade de efeito foi dada pela mecânica quântica, com o que chamaremos de *estrutura espectral da causalidade*. Em consequência da quantização das trocas de invariantes, encontra-se que um certo estado físico em determinadas circunstâncias pode evolver para um certo número de outros estados físicos, cada qual dêles conservando os invariantes mas entre si sendo distinguíveis, porque correspondem a observáveis diferentes e ainda porque cada qual dêles tem uma sua própria probabilidade, determinada por motivos lógicos. Todos êles são possíveis efeitos da mesma causa, e todos êles acontecem com uma frequência proporcional à probabilidade dêles. O caso mais conhecido é o dos espectros atômicos e moleculares, onde a mesma energia pode excitar inteiras seções do espectro, cada raia sendo um dos efeitos possíveis, cuja probabilidade é medida pela intensidade das raias. O efeito global é a média ponderada de

todos os efeitos possíveis. Todavia, não é possível dizer que o efeito é “escolhido” entre os que pertencem ao espectro dos efeitos: pois todos êsses acontecem, e a probabilidade dêles não é o resultado de uma “escolha” mas é determinado por motivos lógicos, isto é matematicamente definíveis e necessários. Isso elimina a possibilidade de interpretar a liberdade do homem como se fôsse uma causação de estrutura espectral, como parece sugerir D. Bohm (Quantum Theory, Prentice-Hall, 1960, pág. 170, que aliás é um livro excelente). Com efeito, a liberdade corresponde sim a uma causalidade com um espectro ilimitado de efeitos, mas onde cada qual efeito teria uma probabilidade arbitrária, o que representa uma dimensão de causalidade totalmente fora de cada possível esquema, seja físico seja biológico, a dimensão das causas intencionais ou livres.

A PROPÓSITO DO CEARENSE: SUGESTÕES EM TÔRNO DA SUA ETNIA E DO SEU “ETHOS”

GILBERTO FREYRE

Há vinte e três anos, no Teatro José de Alencar, de Fortaleza, proferi uma conferência intitulada *Precisa-se do Ceará*. Publicou-a o jornal *Unitário*, daquela cidade, de 28 de agosto de 1944.

Eu me detivera na capital do Ceará apenas uma noite, prosseguindo viagem para Nova York. Perdi de vista, desde então, aquêl trabalho. Nem sequer o vi publicado.

Dele me enviou recentemente cópia o antigo Governador do Estado do Ceará e ilustre homem público e, ao mesmo tempo, de estudo, Parsifal Barroso, sugerindo nova publicação de *Precisa-se do Ceará*. O Instituto Joaquim Nabuco de Pesquisas Sociais publicará êsse mais ensaio que conferência. O texto será mantido quase sem alteração: omitidas apenas palavras inteiramente circunstanciais e feito um ou outro pequeno acréscimo, simplesmente esclarecedor.

Permanecerá, assim, em *Precisa-se do Ceará*, um tom apologético com relação aos traços que considere então, e considero hoje, positivos, do caráter cearense, sem desconhecimento, é claro, de traços antes negativos que positivos do mesmo *ethos*. No momento e nas circunstâncias em que foi proferida a conferência, cercado o conferencista de jovens cearenses ávidos, como êle próprio, do mundo ou do Brasil que supunham ir resultar e, até certo ponto, resultaria, da IIª Grande Guerra, pareceu-lhe que era do seu dever destacar aquêles traços positivos, dada a conveniência de serem êles avigorados, avivados e adaptados a novas situações brasileiras. O Brasil a reorganizar-se precisava de inspirar-se em sugestões de ânimo cooperativo ou de espírito de atividade solidária que as tradições cearenses de “mutirão” ou “adjunto” traziam até nós, brasileiros dos meados do século XX: brasileiros já demasiadamen-