



ESTUDOS ESTRATÉGICOS

Dossiê

Fronteiras da ciência, implica-
ções produtivas e filosóficas

curador: Olival Freire Júnior

Membro do Comitê Central do PCdoB

Janeiro/2012

ESTUDOS ESTRATÉGICOS DO PARTIDO COMUNISTA DO BRASIL

DEPARTAMENTO NACIONAL DE QUADROS DA SECRETARIA NACIONAL DE ORGANIZAÇÃO

Editores

Editor responsável: Walter Sorrentino

Editores: Bernardo Joffily, Fabiana Costa, José Carlos Ruy e Nereide Saviani.

Corpo editorial

Augusto Buonicore

Dilermando Toni

Elias Jabbour

Fabio Palacio

Felipe Maia

Olival Freire

Quartim de Moraes

Renildo Souza

Ronaldo Carmona

Sergio Barroso

Secretaria

Eliana Ada Gasparini

Serviços Editoriais

Cleber Rodrigues

Apoio

Fundação Mauricio Grabois

Fundação
Maurício
Grabois



 **PCdoB**
PARTIDO COMUNISTA DO BRASIL

APRESENTAÇÃO

Estudos Estratégicos do PCdoB

É instrumento do Departamento Nacional de Quadros João Amazonas, da Secretaria Nacional de Organização, um produto com formato eletrônico e regularidade em fluxo, com o objetivo maior de organizar e compartilhar conteúdos relevantes que subsidiam o estudo, reflexão e elaboração dos quadros de atuação nacional, em primeiro lugar os integrantes do atual Comitê Central.

Lidará com temas políticos, econômicos, sociais, diplomáticos, militares, científicos, tecnológicos, teóricos, filosóficos, culturais, éticos, etc. ademais dos temas teóricos socialistas. Fá-lo-á mediante indicação e disponibilização de textos, ensaios, livros e outros documentos destacados para a formulação e elaboração teórica, política e ideológica do PCdoB, socializando-os.

Sua necessidade está ligada às formulações da política de quadros contemporânea, particularmente quanto ao foco de formar conscientemente nova geração dirigente nacional para as próximas décadas. Fazem-se grandes as exigências de renovação da teoria avançada, em ligação com o quadro estratégico de forças em confronto no Brasil e no mundo na perspectiva de luta pelo Programa Socialista do PCdoB e, ainda, de fortalecimento de convicções e compromissos partidistas programáticos, elevando a confiança ideológica na luta transformadora. Como concluímos enfaticamente no 12º Congresso, isso deve ser enfrentado, sobretudo com os quadros partidários.

Deverá propiciar a todos, formação marxista e leninista viva e científica, comprometida ideologicamente, sem dogmatismo, em ligação profunda com os problemas da época e os desafios programáticos brasileiros, é certamente a maior das responsabilidades dos integrantes do Comitê Central no sentido de autoformação e o maior desafio para o futuro do PCdoB. É a condição para cumprir de fato o alvo da política de quadros, a de forjar nova geração dirigente do partido, com ampla bagagem marxista, para os próximos 10-15 anos.

Por outro lado, visa-se a permitir superar a grande dispersão e cacofonia do regime de (in) formação de hoje, que combina às vezes supersaturação com falta de atenção qualificada ao que realmente é importante; ou seja, a falta de foco, que torna o esforço abstrato e disperso, ou o excesso de foco, que o torna imediatista. O partido político se estrutura para a política, a ação política, e não propriamente para a elaboração de conhecimento. Mas a teoria, o conhecimento, a consciência política avançada, é basilar à luta dos comunistas e é cada vez mais fundamento indispensável para uma política programática. Onde o esforço pessoal em alcançar e produzir conhecimento, que não advém diretamente da informação, mas de elaboração individual, a partir da informação qualificada. A iniciativa proposta serve a esses propósitos.

Walter Sorrentino
Pelo Conselho Editorial

PLANO EDITORIAL

Estudos Estratégicos

O Plano editorial é composto de 3 séries:

1. O novo projeto nacional de desenvolvimento – temas programáticos
2. Formação histórica do Brasil
3. Temas teóricos

Os dossiês propostos em cada série serão publicados entre 2011 e 2013

I. O novo projeto nacional de desenvolvimento – temas programáticos

- I.1. Política externa na perspectiva do desenvolvimento soberano
- I.2. O comércio internacional e uma abordagem da questão nacional e da transição
- I.3. A questão ambiental e a biodiversidade
- I.4. Mídia, democratização, conteúdo nacional
- I.5. A questão energética
- I.6. A Cultura, identidade e projeto nacional
- I.7. A questão agrária e agrícola
- I.8. A Questão urbana
- I.9. A Amazônia
- I.10. Questão indígena no Brasil
- I.11. A defesa nacional
- I.12. Política nacional de Ciência & Tecnologia & Inovação
- I.13. A questão tributária e fiscal
- I.14. Estado indutor do desenvolvimento
- I.15. Política macroeconômica – juros e câmbio
- I.16. Política macroeconômica – inflação e vulnerabilidade externa
- I.17. Defesa da economia nacional
- I.18. Política industrial, Industrialização/desindustrialização

II. A Formação histórica do Brasil

- II.1. Povo uno – a formação do povo brasileiro
- II.2. Formação histórica da nação e suas contradições
- II.3. Formação e situação atual das classes sociais no Brasil
- II.4. Formação do Estado brasileiro

III. Temas teóricos

Sub Série A questão nacional

- III.1. A Questão nacional
- III.2. A questão democrática
- III.3. A questão social
- III.4. O Papel do Estado
- III.5. Desenvolvimento, globalização neoliberal e dependência imperialista

Sub Série Capitalismo contemporâneo

- III.6. Características e tendências do capitalismo contemporâneo
- III.7. As tendências geopolíticas e econômicas do mundo
- III.8. A crise capitalista e perspectivas do “pós-crise”
- III.9. Imperialismo contemporâneo, neoliberalismo, globalização

Sub Série Ciências

- III.10. Fronteiras da ciência, implicações produtivas e filosóficas

Sub Série Socialismo e Marxismo

- III.11. O conceito de transição capitalismo-socialismo
- III.12. O papel do mercado no socialismo
- III.13. A transição na experiência socialista na China
- III.14. A transição na experiência socialista no Vietnã
- III.15. A transição na experiência socialista em Cuba
- III.16. O conceito do trabalho, o proletariado moderno
- III.17. O Partido enquanto agente transformador
- III.18. A questão de gênero: uma perspectiva atualizadora
- III.19. O pensamento de Lênin
- III.20. A obra de Gramsci
- III.21. Marxismo Latino-americano
- III.22. Marxismo e PCdoB

Dossiê III.10

Fronteiras da ciência, implicações produtivas e filosóficas

curador: **Olival Freire Júnior**
Membro do Comitê Central do PCdoB

Janeiro/2012

ÍNDICE

Biografia do Curador

Fronteiras da ciência, implicações produtivas e filosóficas (Olival Freire Junior)

Paisagens da história: como os historiadores mapeiam o passado (John Lewis Gaddis)

Marxismo sem utopia (Jacob Gorender)

Fabricantes de instrumentos e construtores de disciplinas: O caso da ressonância magnética nuclear (Timothy Lenoir)

Os primórdios do caos determinístico (Ildeu de Castro Moreira)

O paradigma complexo (Edgar Morin)

Introdução à complexidade (H. Moysés Nussenzveig)

O fim das certezas. Tempo, caos e as leis da natureza (Ilya Prigogine)

A física do século XX (Silvio R. A. Salinas)

Da ciência moderna ao novo senso comum (Boaventura de Sousa Santos)

Engenharia de Sistemas Complexos para o século XXI (Sérgio Mascarenhas e Hamilton Varela)

Mais uma vez, Sergio Mascarenhas tem razão (Constantino Tsallis)

BIOGRAFIA DO CURADOR



Olival Freire Junior é Licenciado e Bacharel em Física pela UFBA, Mestre em Ensino de Física e Doutor em História Social pela USP. É Professor Associado da UFBA, onde foi um dos criadores do Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, e Pesquisador do CNPq em História da Ciência. Realizou estágios de pós-doutoramento na Université Paris 7, Harvard University e MIT. Preside a Sociedade Brasileira de História da Ciência. É membro do Comitê Central do Partido Comunista do Brasil.

FRONTEIRAS DA CIÊNCIA, IMPLICAÇÕES PRODUTIVAS E FILOSÓFICAS

Olival Freire Junior

Uma análise do panorama da ciência entre o final do século XX e o início do século XXI parece sugerir mudanças em curso de tal monta que a própria natureza deste empreendimento social - a ciência moderna desenvolvida a partir do século XVII – estaria em transformação. Por ciência moderna tomemos, grosso modo, aquela produzida nos últimos quatro séculos e associada aos nomes de Galileu, Newton, Lavoisier, Darwin e Einstein, bem como à prática da produção da ciência naqueles períodos. As mudanças seriam tanto no terreno dos conceitos quanto de seus pressupostos epistemológicos, além do terreno da sua prática, em especial em sua relação com a tecnologia, a inovação e a sociedade. O tom cauteloso, condicional, destas linhas iniciais justifica-se, ainda mais em um texto introdutório como este, porque somos partícipes de um intenso debate sobre a própria natureza, escopo e extensão desta transformação. Por esta razão tentamos neste texto tanto um mapeamento dos fenômenos e evidências destas mudanças quanto uma resenha das idéias em debate sobre as transformações na natureza da ciência. Ao final formulamos algumas conclusões sobre este debate. A distinção entre estes níveis de apresentação deve, entretanto, ser relativizada porque o próprio ato de nomear fenômenos e evidências como dados não é de todo independente da interpretação destes dados. Não caberia forçar uma dicotomia entre componentes objetivos e subjetivos nos debates sobre a ciência contemporânea.

Complexidade

Dentre as idéias mestras que permeiam as mudanças conceituais na ciência nas últimas duas décadas duas parecem adquirir maior relevância : complexidade, tendo fenômenos caóticos como sua precursora, e informação. Outras que poderiam ser arroladas incluem uma relação mais simbiótica entre ciência e tecnologia e o impacto das simulações na configuração da prática da ciência. Concentraremos nossas considerações nas duas primeiras. A idéia de complexidade está associada, grosso modo, a sistemas que apresentam comportamento coletivo complexo (número muito grande de variáveis com relações não-lineares entre si), processamento de informação, e capacidade de adaptação, embora existam sistemas complexos, como furacões, que não apresentam capacidade adaptativa. O estudo de sistemas complexos teve suas origens em uma confluência de trabalhos de físicos, matemáticos, químicos e engenheiros que tinham em comum o fato de que os sistemas em estudo só poderiam ser modelados matematicamente por sistemas de equações não-lineares. Conquanto o estudo de equações lineares e do cálculo remonte à origem da ciência moderna, de fato aquele campo da matemática foi co-criado com a própria ciência moderna, com o estudo de equações não-lineares dando passos decisivos apenas no final do século XIX com os trabalhos do físico e matemático francês Henri Poincaré. Depois de um contínuo desenvolvimento ao longo de boa parte do século XX, tais estudos adquiriram grande impulso em torno de 1970, recebendo então o batismo de estudos de fenômenos caóticos. Estes desenvolvimentos foram apresentados ao grande público como um campo de estudos que expressava a mais nova revolução científica e epistemológica (Gleick, 2008). A afirmativa tinha seu lastro no fato de que os sistemas ditos caóticos apresentavam qualidades novas e distintas de tudo que conhecíamos até então como sistemas descritos por equações lineares. A primeira novidade é que sistemas não-lineares exibem uma grande imprevisibilidade em sua evolução ainda que descritos por equações bem definidas. De fato, a evolução ulterior de tais sistemas sofrerá grandes variações na dependência de pequenas variações nas condições iniciais destes sistemas. A afirmativa de que um bater de asas de uma borboleta em Tóquio pode desencadear um furacão em Nova Iorque é a ilustração padrão desta novidade. Contudo, estes sistemas podiam exibir padrões bem definidos, os “atratores estranhos” sendo um exemplo, e estes padrões podiam ser estudados pelas novas ferramentas matemáticas que vinham sendo desenvolvidas debaixo da rubrica de sistemas dinâmicos.

Cabe notar que os matemáticos e físicos brasileiros têm dado relevantes contribuições neste campo, em particular com os trabalhos de Mauricio Peixoto e de Celso Grebogi.

O estudo de sistemas caóticos conheceu, desde a década de 1970, rápida expansão mesclando-se com desenvolvimentos oriundos de uma disciplina, a física estatística. Estes desenvolvimentos tiveram por base a transferência de certos métodos matemáticos – renormalização da teoria quântica de campos, usados em uma área totalmente distinta, a física de partículas sub-atômicas – para o estudo do agregado de um número muito grande de sub-sistemas, o que é o objeto da física estatística. Nesta rota, vários novos conceitos foram introduzidos, com destaque para o de criticalidade auto-organizada, introduzido por Per Bak no início dos anos 1990. Por fim, todos estes estudos, incluindo as abordagens vindas da ciência da computação, convergiram para o que tem sido batizado de ciência da complexidade, ou estudos dos sistemas complexos. Uma breve definição (Mitchell, 2009, 13) do escopo desta área de estudo diz que um sistema complexo é:

Um sistema no qual grandes redes de componentes com regras simples de operação e sem qualquer controle central dão origem a um comportamento coletivo complexo com um processamento sofisticado de informação e adaptação através de aprendizagem ou evolução.

No escopo de tais estudos os componentes podem ser formigas, linfócitos, agentes do mercado, sinapses, ou conexões na internet, enquanto os sistemas complexos podem ser colônias de formigas, sistema imunológico, mercado, cérebro, ou rede de internet, respectivamente. Um marco na institucionalização destes estudos foi a criação do Instituto Santa Fé, nos Estados Unidos. Desde a convergência destes estudos, entre as décadas de 1970 e 1980, e em paralelo ao seu próprio desenvolvimento, tais estudos têm tido um amplo impacto científico e cultural.

O impacto científico deriva da generalidade das aplicações destes estudos. Quase todas as áreas da física, química, biologia, e engenharia estudam hoje sistemas não lineares. Fenômenos tão diversos como propagação de epidemias, de infecções, comportamento de reações químicas, evolução de oscilações mecânicas ou elétricas, comportamento de bolsas de mercado, funcionamento do cérebro, e fenômenos climáticos são estudados com as mesmas ferramentas matemáticas. Ademais, estes estudos têm servido de inspiração para várias das humanidades e ciências sociais, em especial por combinar a noção da existência de ordem com a de imprevisibilidade na evolução de sistemas. Esta combinação anima muitos estudiosos a identificar uma saída, quem sabe uma superação, para a dicotomia entre o estudo de fenômenos naturais, nos marcos da ciência moderna, e os estudos sociais nos quais as componentes de intencionalidade não podem ser eliminadas.

Antes mesmo de falarmos de pensadores das ciências humanas e sociais, cabe registrar que estas implicações têm sido sugeridas por cientistas da natureza, engenheiros ou matemáticos com inclinação filosófica. Um exemplo destacado é o químico Ilya Prigogine (1917-2003) que publicou um certo número de obras nesta direção, algumas em contribuição com a filósofa Isabelle Stengers. O autor notabilizou-se pela defesa de uma reorientação da ciência de modo a incorporar a dimensão da irreversibilidade do tempo, isto é, da sua historicidade, como um conceito básico da própria ciência. Ao fazer a defesa da introdução da historicidade nas teorias das ciências da natureza, o autor tem estabelecido conexões desta questão com o pensamento dialético (Prigogine, 2011, 195).

No âmbito das ciências sociais, o sociólogo português Boaventura Santos tem sido um dos defensores da superação da dicotomia anteriormente referida. Para ele, a irreversibilidade nos sistemas abertos colocaria para dentro do mundo das ciências naturais a noção de história, podendo fornecer uma nova concepção da matéria e da natureza, assim como o conhecimento alcançado sobre sistemas não-lineares permitiria acercar-nos a uma melhor compreensão da discrepância entre a maior capacidade de ação da tecnologia possibilitada pelo avanço das ciências e sua menor capacidade de predição das suas conseqüências, que é, para ele, uma das causas da crise que hoje vivenciamos. Assim a não-linearidade dos sistemas, colocaria em dúvida e, em certa medida negaria, o pressuposto de que o controle das causas possibilita o controle das conseqüências. Conforme Santos (2000, 80):

Pelo contrário, a falta de controle sobre as conseqüências significa que as ações empreendidas têm, não apenas as conseqüências intencionais (lineares) da ação, mas uma multiplicidade imprevisível (poten-

cialmente infinita) de conseqüências. O controle das causas, sendo absoluto, é absolutamente precário.

Dois outros autores ilustram como estes desenvolvimentos nas ciências das quatro últimas décadas têm inspirado o campo das humanidades e em particular o da história. O historiador norte-americano John L. Gaddis, um especialista no período da Guerra Fria, escreveu o livro *Paisagens da história* – como os historiadores mapeiam o passado como uma reflexão sobre a especificidade da história como conhecimento, no estilo de estudos hoje clássicos formulados por Marc Bloch e E. H. Carr, discernindo suas diferenças e aproximações tanto com as ciências sociais quanto com as ciências da natureza. Quanto às ciências sociais, sustenta Gaddis (2003, 89),

Concluí o último capítulo com a sugestão – deliberadamente polêmica, temo – de que os métodos dos historiadores se aproximam mais dos de alguns cientistas naturais do que da maioria dos cientistas sociais. A razão, apontei, é que muitos cientistas sociais, no esforço de especificar variáveis independentes, perderam de vista um requisito básico da teoria, que é justificar a realidade. Eles reduzem a complexidade em simplicidade para anteciper o futuro, mas ao fazer isso simplificam em demasia o passado.

As ciências naturais que Gaddis tem em mente são de dois tipos. De um lado, aquelas mais antigas mas que são fortemente carregadas de historicidade, a exemplo de geologia, paleontologia, cosmologia, e biologia evolucionista. De outro lado, as abordagens científicas mais recentes, apoiadas nas noções de caos e complexidade, tema ao qual Gaddis dedica todo o capítulo 5 de seu livro. Para uma aproximação, via analogias, entre a história e estas abordagens científicas mais contemporâneas, Gaddis mobiliza os conceitos de “dependência sensível das condições iniciais”, “fractais” e “auto-similaridade através da escala”, e “auto-organização” e “criticalidade”.

O teórico marxista brasileiro Jacob Gorender, em obra polêmica que visa depurar a doutrina marxiana de elementos utópicos, analisa como o problema do determinismo se punha na ciência do século XIX, contemporânea a Marx, e como este problema está posto na ciência contemporânea. Sua conclusão (Gorender, 1999, 226) é que deve ser retomada,

A proposição de Marx e Engels de uma teoria socialista fundamentada na ciência. Mas, como deve ficar completamente claro, de uma ciência que inclui a indeterminação e o caos entre os seus paradigmas, que considera a incerteza como aspecto integrante ineliminável dos processos objetivos. Somente assim se evitará o viés de um determinismo absoluto em que caiu a ciência do século XIX e se alcançará a concepção autenticamente dialética do determinismo.

Contudo, certa cautela é, mais que nunca, necessária, visto que certos autores apresentam estudos sobre caos e complexidade como um referencial teórico que funcionaria como verdadeira panacéia para o desenvolvimento das ciências tanto naturais quanto sociais. Como alertado por estudiosos sérios do campo, “não existe ainda uma única ciência da complexidade ou uma teoria da complexidade (Mitchell, 2009, 14)”. Complexidade é, ainda, um campo de estudo em formação.

Informação

A informação, ou sua transmissão, é fenômeno cultural dos mais antigos, antecedendo a criação da própria escrita. As pinturas rupestres são os registros mais antigos que dispomos do uso de imagens para armazenamento de informações, além de funções artísticas e religiosas. O recente livro de James Gleick - *The Information: A History, a Theory, a Flood* – é uma ótima apresentação histórica e conceitual do percurso da informação e dos estudos sobre a informação, dos tempos remotos à ciência contemporânea. Contudo, a centralidade do conceito de informação nas ciências básicas emergiu apenas nos fins do século XX. Isto ocorreu nos estudos sobre sistemas complexos, como vimos, mas também na física e na biologia. No âmbito da física este conceito era uma figura fantasmagórica assustando a disciplina desde fins do século XIX. Isto surgiu com a percepção de que a termodinâmica introduzia na física a idéia de irreversibilidade temporal, um conceito estranho à mecânica, a qual era suposta ser a base da própria termodinâmica. Sabiamente, contudo, os físicos reservaram o problema para alguns poucos iniciados e continuaram sua labuta explorando novos territórios com o auxílio de novas ferramentas teóricas e experimentais. Na última década do século XX o problema reapareceu, desta vez em um campo inteiramente

novo, denominado de informação quântica, no qual uma mescla de física com informática busca usar a teoria quântica para o desenvolvimento de processadores e criptografia muito mais eficazes. Muitos físicos daí concluíram que a teoria quântica deveria então ser uma teoria física que tivesse a informação como seu próprio objeto. Ora, desde a década de 1940 os engenheiros dispõem de uma teoria matemática da informação, devida a Claude Shannon, que nos permite a quantificação da informação. Embora se trate de teoria essencial para as telecomunicações e a informática, logo ficou claro para os teóricos da informação quântica, a exemplo do físico Anton Zeilinger, que esta teoria da informação não se prestava aos estudos baseados na teoria quântica. Desde então Zeilinger e outros têm tentado desenvolver uma nova teoria da informação adequada aos fenômenos em estudo na informação quântica. Para nossa reflexão, o que importa agora é perceber que estamos na fronteira mesma do conhecimento, com o conceito de informação emergindo com centralidade em uma área avançada da ciência mas sem que esta disponha de uma teoria capaz de dar conta desta área. Dito de outra maneira, a ciência moderna tem como objeto a materialidade dos fenômenos da natureza, ainda que estes, para serem tomados como objeto de pensamento, sejam tomados como objetos conceituais. Agora, o desenvolvimento da física quântica parece sugerir, pelo menos para estes autores, a necessidade de incluirmos a informação, ou seja, um objeto não material, como o próprio objeto da teoria científica, e isto admitindo-se hipoteticamente uma nova teoria da informação, a qual ainda está por ser construída.

No âmbito da biologia o problema pode ser melhor compreendido se lembrarmos a grande promessa científica e tecnológica do final do século XX. A decifração do Genoma Humano nos levaria de imediato a uma revolução no controle das doenças. Na base desta promessa estava um dos pilares do reducionismo em biologia, a premissa de que a informação sobre a herança estaria codificada em unidades bioquímicas bem definidas, os genes. Como sabemos, esta promessa não se realizou. Findo o projeto Genoma Humano os cientistas não encontraram esta correspondência direta entre herança e unidades bioquímicas e no seu lugar passaram a dispor de uma enorme massa de dados à espera de interpretação. Com o fracasso das abordagens reducionistas, o próprio conceito de gene entrou em crise e os biólogos lidam hoje com o desafio de forjar novos conceitos e novas abordagens que permitam compreender os mecanismos pelos quais a informação sobre a herança é transmitida de um indivíduo a outro em uma mesma espécie, bem como compreender a emergência de propriedades complexas a partir de estruturas bioquímicas mais simples.

É contra este cenário, não exaustivo, que se pode compreender o número de sociólogos, epistemólogos e divulgadores, e também cientistas, que têm escrito contra certas características da ciência moderna como o determinismo e o reducionismo e têm buscado extrair conclusões filosóficas sobre a ciência em transformação. Alguns desses autores e obras estão identificados na lista de leituras. Trata-se de terreno pantanoso, mas que precisa ser trilhado. Pantanoso porque se tenta fazer epistemologia refletindo sobre características da ciência ainda em desenvolvimento, invertendo a rota histórica da epistemologia. Lembremos que Immanuel Kant sistematizou a teoria do conhecimento buscando compreender como uma ciência da natureza bem sucedida, a mecânica newtoniana, podia ser possível. O pântano precisa ser enfrentado porque o desenvolvimento científico já consolidado sinaliza claramente sua inadequação a certa imagem de ciência, portanto epistemologia, que herdamos do século XIX e que o senso comum, mesmo esclarecido, ainda identifica com a ciência realmente existente.

Ciência, tecnologia e mercado

Outro tema de intenso debate sobre as transformações em curso na ciência contemporânea está relacionado à intensificação das relações entre ciência e mercado e aos impactos desta intensificação na prática da produção da própria ciência. Desde a década de 1980 o termo “tecnociência” tornou-se de uso corrente para designar a idéia de que a tradicional distinção entre ciência e tecnologia estaria superada, passando a predominar um novo fenômeno resultante do imbricamento entre aqueles dois saberes e práticas. Os campos da nanotecnologia e da biotecnologia são considerados exemplares desta transformação. O historiador norte-americano Paul Forman, crítico destas tendências, tem argumentado que é uma característica do discurso pós-modernista sobre a ciência, que se instaurou a partir de 1980, a inversão

do primado da ciência em relação à tecnologia. Ou seja, se antes a ciência era apresentada pelos mais variados pensadores, inclusive Karl Marx, como tendo um primado cognitivo sobre a tecnologia, o discurso agora instaurado passa a considerar a tecnologia, em suas óbvias conexões com o mercado, como o valor central, restando à ciência um papel subordinado naquela polaridade. Este debate inspira-se, pelo menos parcialmente, em estudos de caso que têm desafiado a chamada cadeia linear de inovação, segundo a qual uma inovação (uma mudança de produto ou processo efetivamente presente no mercado) tem que ser antecedida pela pesquisa tecnológica e esta necessariamente precedida pela pesquisa em ciência pura. Mais recentemente, um argumento bastante influente responde pela denominação de “tripla hélice”, segundo o qual universidade, empresa e governo passam a ter papéis igualmente dinâmicos e interativos na produção de inovações. Tais debates têm perpassado a prática da ciência na medida em que governos e agências financiadores impulsionam, em seus editais, uma ciência claramente com aplicações tecnológicas

Ao longo de linhas até certo ponto análogas, um conjunto de pesquisadores, que inclui o sociólogo brasileiro Simon Schwartzman, tem sustentado que um novo modo de produção do conhecimento emergiu na segunda metade do século XX, que eles denominam de “modo 2”, fortemente dependente de contextos, focado em problemas e de natureza inerentemente interdisciplinar. A expressão “modo 2” visa distingui-lo do “modo 1” de produção do conhecimento, este fortemente baseado na iniciativa do pesquisador e de natureza eminentemente disciplinar. Outros pesquisadores, contudo, a exemplo de Terry Shinn, têm desafiado a predominância do modo 2 na produção da ciência contemporânea, baseando-se em estudos sociológicos empíricos. Para estes últimos, a força das disciplinas acadêmicas e a relativa autonomia destas disciplinas face à sociedade (e portanto face ao mercado) continuam tendo um peso muito maior na ciência contemporânea que aquele imaginado pelos teóricos do modo 2.

Independente dos termos precisos em que os referidos debates têm acontecido, há que ressaltar que os estudos sobre a ciência, em especial aqueles produzidos no último terço do século XX, fornecem uma visão da ciência como uma prática social fortemente enraizada nos seus contextos e locais de produção, com a objetividade e universalidade da ciência como sendo características que demandam explicações partindo dos modos concretos como ela é produzida e como a mesma circula, ao invés de considerarmos tais características como dadas a priori por uma suposta superioridade da ciência face a outros territórios das atividades humanas. Exemplos de estudos que evidenciam esta ciência fortemente contextualizada são muitos, mas uma boa introdução aos mesmos pode ser o volume *Instituindo a ciência*, de Timothy Lenoir.

Conclusão

Certamente a ciência é uma esfera da produção humana que, pela sua própria história, tem sido marcada por transformações constantes. O que está em debate hoje, entretanto, é mais que isso. É que seja pelas mudanças cognitivas seja pelas suas conexões com a sociedade, as mudanças em curso estariam transformando a ciência contemporânea em um empreendimento essencialmente diferente daquele instituído no século XVII e que temos denominado ciência moderna, a qual marcou, por sua vez a constituição do mundo em que vivemos. O debate é atual, relevante e necessário. Mais que nunca, contudo, o espírito crítico é necessário pois é uma tendência recorrente em debates análogos enfatizarmos o que está em mudança perdendo de vista, muitas vezes, o que há de continuidade nos fenômenos sociais em questão.

Por fim, estes debates têm enorme interesse para todos aqueles que se situam na herança da tradição marxista. Em termos sociais, é desnecessário enfatizar a relevância atribuída por Marx às componentes de ciência e tecnologia na conformação social. Em termos filosóficos, estes desenvolvimentos científicos também têm relevância para esta corrente de pensamento social. Muitos dos desenvolvimentos científicos comentados foram conduzidos buscando superar resquícios de subjetivismo presentes nas teorias científicas, como argumentado por Prigogine (2011). Contudo, muitos cientistas usam hoje o nome “técnico” de “fiscalismo” para designar suas visões de mundo, talvez para diluir a conotação ideológica do termo materialismo. Cabe registrar, incidentalmente, que o renovado interesse no debate sobre ciência

cia e religião, alimentado em particular pelo fim da experiência socialista soviética e pelo modo limitado como as religiões foram tratadas naquelas experiências, não tem incidência nas direções de pesquisa aqui analisadas. Ou seja, por mais relevante que este debate seja, e é, ele tem pouca relação, a meu ver, com as encruzilhadas reais da ciência contemporânea. Ainda no terreno filosófico, a referência à historicidade da natureza nos remete às idéias da dialética, como referido por Prigogine. Mas, há uma significativa distância entre estas referências e o modo como Marx e Engels compreendiam a dialética, até porque outro era o horizonte conceitual da ciência e da filosofia em meados do século XIX. Isto seria, contudo, tema para um outro dossiê.

Leituras sugeridas presentes no dossiê :

Gaddis, J. L. Paisagens da história : como os historiadores mapeiam o passado, Rio de Janeiro: Campus, 2003 [1ª edição, em inglês, 2002].

Uma discussão da escrita da história sugerindo que as metáforas das ciências da natureza históricas e do estudo dos sistemas dinâmicos pode colocar em novas bases o debate sobre o estatuto da história como ciência. Ver especialmente o capítulo 4, pp. 89-107 e 190-194. A fraca tradução deste volume, recheada de anglicismos, não deve desestimular o leitor interessado em uma reflexão instigante sobre a natureza da história como disciplina intelectual.

Gorender, J. Marxismo sem utopia, São Paulo: Editora Ática, 1999.

Proposta teórica de desenvolvimento do marxismo na qual os desenvolvimentos no estudo dos sistemas caóticos servem como inspiração para discutir o problema do determinismo no âmbito da ciência contemporânea e do marxismo. Ver especialmente páginas 7-10, 26-32 e 224-226. Contudo, o quadro epistemológico da ciência contemporânea é apresentado com imprecisões. Por exemplo, o princípio da incerteza quântica, que não tem relevância para a questão do determinismo na escala humana e macroscópica é apresentado no mesmo pé de igualdade dos sistemas caóticos, e na apresentação destes últimos não se apresenta a não-linearidade como a base da imprevisibilidade da evolução dos sistemas dinâmicos.

Lenoir, T. Instituinto a ciência, São Leopoldo: Editora Unisinos, 2003 [1ª edição, em inglês, 1997] .

Seleção de estudos de caso evidenciando a contextualidade da produção da ciência. A destacar o capítulo “Fabricantes de instrumentos e construtores de disciplinas: o caso da ressonância magnética nuclear”, por se constituir em exemplo de desafio ao chamado modelo linear da inovação. A introdução a este capítulo, pp. 299-305, permite uma visão introdutória aos estudos sociais sobre a ciência e tecnologia. As notas desta introdução foram eliminadas do fragmento sugerido para a leitura, mas elas apresentam uma expressiva amostra de referências bibliográficas sobre a crítica ao modelo linear da inovação.

Mascarenhas, S. e Varela, H. Engenharia de Sistemas Complexos para o Século XXI, Jornal da Ciência - E-mail, 17 de novembro de 2011, disponível em <http://www.jornaldaciencia.org.br/Detail.jsp?id=80136>

Proposta de criação de uma nova modalidade de Engenharia dedicada aos sistemas complexos.

Morin, E. Introdução ao pensamento complexo, Porto Alegre: Editora Sulina, 4ª. ed., 2011.

Proposta de diretrizes para uma nova epistemologia inspirada, parcialmente, em estudos sobre sistemas complexos. Trata-se de autor bastante prolífico e influente em áreas das ciências sociais, especialmente na área da educação, que vem escrevendo sobre o tema já há várias décadas. Ver o capítulo 3, pp. 57-77, para uma apresentação concisa de suas idéias.

Nussenzveig, H. M. (ed). Complexidade e caos, Rio de Janeiro: Editora da UFRJ/COPEA, 1999.

Este livro apresenta o “estado da arte”, à época de sua publicação, das pesquisas brasileiras no tema. A introdução geral ao tema, pp. 9-26, escrita pelo organizador da obra, destacado cientista brasileiro, permite uma introdução conceitual às pesquisas sobre a complexidade e suas relações

com estudos de sistemas caóticos. O autor toma o funcionamento do cérebro humano como exemplar de sistema complexo, ilustrando neste caso as propriedades típicas de sistemas complexos, que incluem aprendizado, aleatoriedade e auto-organização.

Paty, M. A física do século XX, São Paulo, Ideias & Letras, 2009 [1ª edição, em francês, 2003].

Panorama do desenvolvimento conceitual da física no século XX com capítulo sobre desenvolvimentos matemáticos dos sistemas dinâmicos. Para resenha informativa sobre o tema, ver Salinas, S. Estudos Avançados, 24(68), 369-374, 2010.

Prigogine, I. O fim das certezas. Tempo, caos e as leis da natureza, São Paulo: Edunesp, 1996.

Reflexões epistemológicas desenvolvidas por líder da área estabelecendo conexões entre o conceito de tempo, sua irreversibilidade, seu estudo no âmbito da física estatística e os fundamentos dos estudos sobre sistemas caóticos. O autor notabiliza-se pela defesa de uma reorientação da ciência de modo a incorporar a dimensão da irreversibilidade do tempo, isto é, da sua historicidade, como um conceito básico da própria ciência. Estudos nesta direção têm tido sucesso inquestionável em certas áreas, como aquela que lhe valeu o Nobel de 1977 “por suas contribuições à termodinâmica do não-equilíbrio, particularmente a teoria das estruturas dissipativas”, bem como na reformulação da mecânica clássica visando eliminar na formulação usual da mesma a simetria da evolução temporal. Em estudos mais conjecturais o autor tem estendido tais abordagens à mecânica quântica. Ao fazer a defesa da introdução da historicidade nas teorias das ciências da natureza, o autor tem estabelecido conexões desta questão com o pensamento dialético. O livro em tela visa um público com alguma formação em ciências exatas, mas o prólogo e o capítulo 9, pp. 9-15 e 195-203, permitem ao público em geral uma compreensão tanto de suas formulações filosóficas como de suas propostas científicas.

Santos, B. S. A crítica da razão indolente: contra o desperdício da experiência. 3a. Ed. São Paulo: Cortez, 2000.

O capítulo 1 discute a crise epistemológica do paradigma científico dominante e as características que pareceria ter o paradigma emergente. Um fragmento da introdução a este capítulo, pp. 60-68, faz apresentação concisa da crítica do autor ao que denomina paradigma científico dominante, o da ciência moderna.

Silveira, A. M. et al. Caos, acaso e determinismo, Rio de Janeiro, Ed. UFRJ, 1995.

Volume reunindo diversas contribuições de pesquisadores brasileiros sobre sistemas caóticos, a diversidade de suas aplicações e suas implicações filosóficas. Ver o capítulo intitulado “Os primórdios do caso determinístico”, de autoria de Ildeu Moreira, pp. 33-51, para uma apresentação dos antecedentes aos estudos sobre sistemas caóticos.

Tsallis, C. Mais uma vez, Sergio Mascarenhas tem razão, Jornal da Ciência – E-mail, 05 de setembro de 2011. Disponível em <http://www.jornaldaciencia.org.br/Detail.jsp?id=79140>

Apresentação sumária do escopo da ciência da complexidade e das possibilidades de uma engenharia da complexidade.

Leituras sugeridas não incluídas no dossiê:

Aubin, D. & Dalmedico, A. D. – Writing the History of Dynamical Systems and Chaos: Longue Durée and Revolution, Disciplines and Culture, *Historia Mathematica*, 29, 1-67, 2002.

Uma narrativa histórica do surgimento dos estudos sobre sistemas dinâmicos e fenômenos caóticos.

Forman, P. The Primacy of Science in Modernity, of Technology in Postmodernity, and of Ideology in the History of Technology, *History and Technology* - Vol. 23, No. 1/2, 2007, pp. 1–152

Apresenta o discurso do primado da tecnologia como um efeito do pós-modernismo.

Gleick, J. *Caos, a criação de uma nova ciência*, Rio de Janeiro: Editora Campus, 2008 [1ª edição, em inglês, 1987].

Texto de divulgação com boa apresentação da ciência do caos.

Gleick, J. *The Information: A History, a Theory, a Flood*, New York: Pantheon, 2011.

Uma apresentação histórica e conceitual da onipresença da informação na vida social e na ciência contemporâneas. [Download](#)

Mitchell, M. *Complexity – A Guided Tour*, New York: Oxford University Press, 2009

Introdução aos estudos sobre a complexidade, e seus antecedentes em caos e sistemas dinâmicos, e em ciências da computação, escrito em linguagem acessível, por um dos protagonistas destes estudos. Uma particularidade positiva deste livro é que a autora recupera problemas matemáticos que fertilizaram o terreno intelectual no qual emergiria, mais tarde, a ciência da computação, referindo-se, por exemplos, aos problemas de Hilbert, máquina de Turing e teorema de Gödel. Sobre Gödel, ver, em português, o livro “A prova de Gödel”, de Ernest Nagel, São Paulo: Perspectiva, 1998, 2ª.ed.

[Download](#)

Ruelle, D. *Acaso e caos*, São Paulo: Edunesp, 1993.

Apresentação das implicações dos estudos sobre caos por um pesquisador líder no tema.

Shinn, T e Ragouet, P. *Controvérsias sobre a ciência: por uma sociologia transversalista da atividade científica*, São Paulo: Editora 34, 2008.

Apresentação e crítica da prevalência do chamado “modo 2” de produção da ciência.

PAISAGENS DA HISTÓRIA: COMO OS HISTORIADORES MAPEIAM O PASSADO

John Lewis Gaddis
Campus - Rio de Janeiro, 2003

CAPÍTULO 5

CAOS E COMPLEXIDADE

CONCLUÍ O ÚLTIMO CAPÍTULO com a sugestão — deliberadamente polêmica, temo — de que os métodos dos historiadores se aproximam mais dos de alguns cientistas naturais do que da maioria dos cientistas sociais. A razão, aponte, é que muitos cientistas sociais, no esforço de especificar variáveis independentes, perderam de vista um requisito básico da teoria, que é justificar a realidade. Eles reduzem a complexidade em simplicidade para antecipar o futuro, mas ao fazer isso simplificam em demasia o passado.

Não é surpreendente que essas tendências tenham colocado os cientistas sociais em disputa, com os historiadores em geral; e, sem dúvida, o que escrevi, sobretudo a menção aos historiadores, causará uma reação desfavorável em alguns cientistas sociais. Mas as ciências sociais também divergiram dos métodos dos cientistas ditos “exatos”, que não confiam só em experiências reproduzíveis para comprovar suas descobertas — na prática a réplica do tempo, a manipulação das variáveis que ela admite e sua identificação subsequente como independente ou dependente. Áreas como astronomia, geologia, paleontologia, biologia evolucionista e medicina não se confinam com facilidade a laboratórios. Elas preocupam-se, assim como a história, com variáveis interdependentes interagindo de formas complicadas durante períodos extensos. E ainda cada uma dessas ciências, à sua maneira, prevê um pouco o futuro.

Os historiadores também podem fazer o mesmo? Para começar a responder a essa pergunta preciso me aprofundar mais nas conexões entre a história e as ciências “exatas” tal como elas existem atualmente. Gostaria de dar início a essa explicação com uma pesquisa pessoal de um historiador por uma variável independente realizada há um século, e aonde ela o levou.

I

O historiador foi nosso grande amigo Henry Adams, e a pesquisa foi relatada em sua extraordinária autobiografia *The Education of Henry Adams*, concluída em 1907, porém publicada postumamente em 1918. Adams retratou-se à procura, durante toda a sua vida, de uma única “grande generalização” que lhe fornecesse a chave para compreender o passado e prever o futuro. A tarefa do historiador, ele escreveu, (usando um verbo surpreendentemente contemporâneo), “é triangular de uma base mais ampla possível para o ponto mais longínquo que ele pense que pode visualizar, o qual está sempre muito além da curvatura do horizonte”.¹

Ele estava falando seriamente? Com. Adams é sempre difícil saber. Ele foi, em sucessivos momentos de sua carreira, um “desagregador” e um “agregador” — um mestre dos detalhes, como em sua grande obra sobre as administrações de Jefferson e Madison, e também pouco sintético, tal como em sua divisão da história em idades, respectivamente, da Virgem e do Dínamo.² A questão fica ainda mais complicada, porque Adams conseguia parodiar totalmente seus dois lados. Poucos historiadores escreveram com tanta percepção sobre a procura de variáveis independentes em história, a dificuldade em encontrá-las, e as formas pelas quais as conexões com a ciência “exata” pode demonstrar isso.

Adams ficara muito impressionado com as descobertas científicas no século XIX, como [a] “teoria atômica; a correlação e conservação da energia; a teoria mecânica do universo; a teoria cinética dos gases; e a Lei de Seleção Natural de Darwin”. A “grande generalização” que ele esperava encontrar seria o equivalente à história — mas ele nunca esclareceu se seria de um modo literal ou metafórico. Ao invocar

a analogia com os campos magnéticos, ele declarou estar buscando as linhas invisíveis de força que dão coerência ao passado e que se esperaria, portanto, dar forma ao futuro.³

No entanto, aconteceu uma coisa curiosa com Adams em seu caminho para o futuro: ele descobriu o caos. A única “grande síntese” que realmente funcionava, ele veio a acreditar, era uma que não oferecia de modo algum uma explicação sobre o passado que permitisse antecipar o futuro. Adams chegou a essa conclusão a partir do trabalho do matemático francês, Henri Poincaré, que à época fazia uma pesquisa pioneira em três postulados e nas equações que os representariam. Poincaré demonstrou que, no âmbito desses sistemas “dinâmicos”, não há uma relação clara entre variáveis independentes e dependentes: tudo é interdependente. Mesmo se “nossos métodos de pesquisa se aprofundassem cada vez mais”, ele escreveu em uma passagem citada por Adams, “descobriríamos o simples sob o complexo; e assim por diante, sem ao menos ser capazes de prever o último termo”. Essas descobertas, Adams sublinhou, “prometem uma eterna bem-aventurança para um matemático, mas deixam o historiador horrorizado”.⁴

As deduções de Poincaré atraíram pouca atenção ao longo da metade do século seguinte, porque ele não conseguiu solucionar muitas das complexas equações geradas pelos postulados, ou representar as soluções visualmente.⁵ No entanto, com o desenvolvimento dos computadores tudo isso se modificou e as “novas” ciências sobre caos e complexidade surgiram, em grande parte, como um resultado de seu trabalho. Isso suscita a possibilidade, creio, de reviver o antigo projeto de Adams; caso não se descubra a natureza da história, ao menos tentaremos encontrar novos termos com os quais caracterizar seus trabalhos indeterminados. Entre eles está o fenômeno das variáveis interdependentes, ou talvez pudéssemos dizer complexo em oposição à simples causalidade.

II

A simples causalidade é facilmente compreendida. Mudanças em uma variável produzem mudanças correspondentes em outras: x quando encontra y sempre resulta em z . Um bom exemplo é a diferença entre dirigir de Oxford a Londres numa velocidade de 70 ou 120 quilômetros por hora. Não é difícil imaginar quanto tempo você economizaria — ou quanta gasolina você gastaria — dependendo do ângulo que você escolhesse entre o acelerador do motor e a estrada. Pelo menos, em um mundo ideal e ordenado.

Mas o mundo não é ideal, a rodovia M-40 é acidentada, e nunca sabemos antecipadamente quanto tempo gastaremos de Oxford a Londres. Primeiro, suas chances de ser parado pela polícia ou de ter um acidente são muito maiores dirigindo a 120 do que a 70 quilômetros por hora. Caso lhe aconteça — ou, se na verdade, algo similar aconteça com os outros dez milhões de motoristas que estejam tentando viajar na M-40 em um fim de semana de manhã, ou mesmo se por um acidente a comporta de descarga de um caminhão se abrir e derramar uma horrível substância tal como *Marmite** por toda a estrada — então pode apostar qualquer coisa, se há alguma esperança, de chegar em Londres a tempo de fazer sua palestra, ou ter sua entrevista de emprego. Você está no mundo da causalidade complexa.

Qualquer motorista que vir as luzes azuis da polícia piscando ou os veículos de emergência diminuirá a marcha, mas não na mesma velocidade. Breve haverá um engarrafamento de tráfego estendendo-se a muitos quilômetros. Entretanto, isso é o resultado, não diretamente do evento em si, mas de dez milhões de decisões individuais de acelerar ou frear o carro, cada uma delas relacionadas às demais ações dos motoristas.

Vemos aqui fenômenos previsíveis e Imprevisíveis ocorrendo no mesmo sistema. O comportamento dos motoristas no engarrafamento do trânsito é bem previsível. A maioria diminuiria a velocidade ao ver a polícia ou as ambulâncias, quase todos acelerariam ao perceber que os outros carros estão batendo nos deles, e todos os americanos que por acaso estivessem na estrada, nesse dia, ficariam nauseados com o cheiro da *Marmite*. O imprevisível é o comportamento agregado de todos esses motoristas — o macroefeito resultante de suas microrrespostas.

Pois essas microrrespostas não aconteceriam todas da mesma forma. A atenção dos motoristas variaria segundo a qualidade de seu sono na noite anterior, ou se estivessem filiando no telefone celular.

* Tipo de patê vegetariano composto de extrato de trigo, legumes, ácido fólico e vitaminas do grupo B, com um cheiro muito forte e levemente salgado. Alimento muito popular na Grã-Bretanha. (N. T.)

Porém, mesmo se todos estivessem muito atentos, as reações ainda refletiriam as diferenças de visão e reflexos de cada um deles, que, por sua vez, dependeriam, da velocidade com a qual os impulsos eletroquímicos necessários cruzaram, os zilhões de sinapses etc. Multiplique isso pelo número de motoristas do engarrafamento de trânsito, e teríamos cerca de um infinito número de variáveis interdependentes, todas com o mesmo peso causal.

Os microfenômenos em nosso sistema são, em geral, *lineares* em sua característica, e existe uma relação previsível entre entrada e saída de dados, entre estímulo e resposta. Na verdade, sem essa linearidade advinda das generalizações — por exemplo — que os motoristas tendem a acelerar o carro quando vêem o sinal vermelho à frente — a tarefa de realizar uma simples narrativa nos esmagaria: teríamos de explicar cada uma das noites maldormidas, telefones celulares, reflexos e impulsos nervosos. Estaríamos ainda com mais dificuldades do que em outro capítulo, quando mencionamos as roupas de baixo de Napoleão. Conseguimos atingir o nosso objetivo praticando a generalização específica: assim, pressupomos coisas que de outra forma nos assoberbariam. Sem esse procedimento, não teríamos nenhuma esperança de representar o passado, porque a alternativa seria de copiá-lo, uma óbvia impossibilidade.

No entanto, o nível macro do comportamento de nosso sistema como um todo — a M-40 no dia do nosso engarrafamento — é *não-linear*. As relações entre entrada e saída de dados realmente existem, assim como entre estímulo e resposta, mas há tantas dessas variáveis e elas são todas tão interdependentes, que seria impossível calcular seus efeitos em uma projeção para o futuro. Como o escritor de teatro Tom Stoppard explicou, na matemática, enviamos a solução de volta para a equação, resolvendo-a inúmeras vezes. Esse fato acontece em qualquer sistema “que coma seus próprios números — epidemias de sarampo, índices pluviométricos, preço do algodão — é um fenômeno natural em si mesmo. Assustador.”⁶ Por essa razão, a *generalização específica* — a aplicação de alguma teoria geral sobre engarrafamento de trânsito a esta em especial — é pouco provável que esclareça o que realmente queremos saber, que é quanto mais tempo ficaremos presos no tráfego.”

À grande inferência de Poincaré foi demonstrar que as relações lineares e as não-lineares podem coexistir, que o mesmo sistema pode ser simples e complexo ao mesmo tempo. Adams percebeu a conexão dessa indução com a história e a deixou escapar, sem compreender como tal absurdo poderia ser caracterizado em termos científicos, com os quais ele tinha familiaridade. O que Adams não anteviu foi que o trabalho de Poincaré indicaria o caminho de uma nova ciência: a que distingue o previsível do não-previsível, que não depende de reduzir complexidade à simplicidade, que reconhece — na verdade, considera — a interdependência de variáveis; uma ciência, em resumo, que se parece muito com a história.

III

Não há, em um sentido, nada de novo sobre caos e complexidade, caso esses termos signifiquem o reconhecimento da indeterminação. Precisamente no momento em que as ciências sociais estão tentando provar sua legitimidade, voltando-se em *direção* da previsibilidade que caracterizou a física desde a época de Isaac Newton — os métodos que Adams esperou poder aplicar na história — os físicos estão *distanciando-se* dessa abordagem, William H. McNeill descreveu esse processo: “[As] antigas convicções newtonianas sobre a máquina do mundo, com sua impressionante capacidade de prever o movimento do Sol, da Lua, e dos planetas, e mesmo dos cometas, inesperadamente dissolveram-se em um universo evolutivo, histórico, e, ocasionalmente, caótico.”⁸ Aconteceu, em resumo, uma travessia metodológica de navios à noite.

Se as equações de Poincaré horrorizaram Adams, o que ele teria feito de Einstein ou Heisenberg? Pois se as concepções de tempo e espaço são relativas, se a própria observação de fenômenos os distorcem, logo foi difícil perceber como os historiadores, ou qualquer outra pessoa, poderiam alcançar a exatidão: o que vemos, o que pensamos dependem no senso mais literal possível do ponto onde estamos. A física oferece pouca base para se pensar em triangular o futuro, porque não há como ter certeza, de que triangulamos corretamente o passado.

Tampouco a continuidade pode ser considerada algo líquido e certo. A visão científica antiga preconizava que a mudança foi gradual ou “uniformizada”, em sua marcha, portanto, um tipo de sistema

era si mesmo,⁹ Consciente de que a história foi repleta de mudanças abruptas e de eventos catastróficos, Adams duvidou dessa proposição, mas não se aprofundou no assunto.¹⁰ Entretanto, durante o século XX as ciências “exatas” começaram também a questioná-la: a constatação de que os elétrons podem saltar instantaneamente de uma órbita ao redor de um núcleo atômico para outro; ou o que Thomas Kuhn nos ensinou sobre as revoluções científicas e as “mudanças paradigmáticas” que as acompanham;¹¹ ou o trabalho de Stephen Jay Gould e Niles Eldrige sobre “equilíbrio pontuado” na evolução das espécies;¹² ou — ainda mais impressionante — as descobertas de Luis Alvarez e outros sobre os impactos dos asteróides e a aniquilação das espécies.¹³

Percebemos por meio desses fatos que não só em física, mas também em química, geologia, zoologia, paleontologia e mesmo na astronomia, a confirmação das teses de Poincaré: algumas coisas são previsíveis e outras não; as regularidades coexistem com aparentes acasos; tanto a simplicidade como a complexidade caracterizam o mundo onde vivemos. Mesmo antes do surgimento da teoria do caos e complexidade nos anos 70, a antiga perspectiva, na qual se presumia a natureza absolutamente natural de tempo e espaço, a objetividade na observação, taxas previsíveis de mudança — e portanto distinções entre variáveis dependentes e independentes — estava tão ultrapassada nas ciências naturais quanto o modelo de universo de Ptolomeu na época de Newton.¹⁴

A teoria do caos e complexidade ampliou essas percepções de três formas: esclarecendo as circunstâncias nas quais o previsível tornou-se imprevisível; mostrando que padrões podem ainda existir quando parece que não há nenhum; e demonstrando que esses padrões podem surgir espontaneamente, sem ação externa, juntos, esses achados aumentam nosso conhecimento da diferença entre as relações lineares e não-lineares — como sistemas organizados transformam-se em desorganizados, ou vice-versa. São informações úteis para os historiadores, pois eles têm de se engalfinhar com tais questões todo o tempo.

Mas caos e complexidade oferecem ainda algo importante para os historiadores. Eles fornecem maneiras de representar visualmente as relações entre os fenômenos previsíveis e imprevisíveis, que na era pré-computador só poderiam ser expressas em cálculos matemáticos proibitivos de tão difíceis. Portanto, eles nos dão *uma nova espécie de aprendizado*, e, por conseguinte, um novo conjunto de termos para representar os processos históricos.¹⁵ Serei bem claro: isso são metáforas. Eles não são os processos em si. Mas quando recordamos que Adams também confiava em metáforas para representar processos históricos — por isso o emprego da Virgem e do Dínamo para simbolizar a mudança de uma consciência religiosa para uma laica — então, a conexão torna-se curiosa.

Assim, o que Adams poderia ter feito com o caos, a complexidade e um computador? A seguir, faço algumas especulações, e tento usá-las para esclarecer meu argumento mais amplo de como os historiadores lidam com as variáveis independentes.

IV

Dependência sensitiva das condições iniciais. Durante os anos 60, o meteorologista Edward Lorenz decidiu criar um modelo de padrões climáticos em um computador antiquado. Ele construiu o programa em 12 parâmetros, fez, com que ele rodasse em vários dias de simulação e esperou encontrar relações lineares entre a entrada e a saída de dados que melhorariam a acuidade das previsões meteorológicas. Em vez disso, ele obteve ao final resultados muito variados derivados de mudanças minúsculas — a diferença, por exemplo, entre elementos movidos para três ou seis casas decimais — nos dados que ele havia colocado no início. Visto que as condições climáticas reais nunca poderiam ser medidas mesmo com esse grau de precisão, Lorenz concluiu que a previsão nesse campo permaneceria problemática: teoricamente, ao menos, a vibração das asas de uma borboleta sobre Pequim poderia causar um furacão que atingiria Baltimore.¹⁶

Os historiadores reconheceriam aqui uma reformulação da famosa hipótese do “nariz de Cleópatra”: se o objeto em questão tivesse sido ligeiramente diferente, sua dona não teria atraído Júlio César e Marco Antônio, e a história subsequente do mundo seria outra. David Hackett Fisher fez uma objeção bem literal sobre essa proposição, observando que “[s]eguramente outras partes anatômicas foram mais importantes para um romano viril”.¹⁷ Mas, além de piadas desse tipo — e relatos previsíveis sobre unhas,

ferraduras, e reinos perdidos — os historiadores não tiveram uma base sólida para refletir com seriedade como pequenos eventos podem ter grandes conseqüências, mesmo quando eles reconhecem a ubiquidade do problema.

A questão é: como perceber um evento dessa natureza ao vê-lo? Por que o cotovelo de Cleópatra não poderia ter provocado a ascensão e a queda de impérios? Como a queda de um único grão de areia pode precipitar o desmoronamento de um monte de areia, quando milhões o precederam sem causar o mesmo efeito?¹⁸ O programa de computador de Lorenz responde a essas perguntas, ou seja, que em sistemas complexos nunca podemos classificar variáveis críticas com antecedência. Pode-se somente especificá-las em retrospecto, e isso é uma tarefa árdua.

Nesse texto, a palavra “complexo” não tem nada a ver com o tamanho do sistema em questão. A M-40 é um sistema complexo porque muitas variáveis interagem com ele. Assim como, qualquer pessoa que more lá logo descobre, é o clima em Oxfordshire. Mas a rotação de uma nave espacial em torno da Terra é relativamente simples: como resultado, é mais fácil estimar os horários de chegada em Marte do que em Londres, bem como você deve carregar seu guarda-chuva em Oxford todo o tempo, qualquer que seja a previsão do tempo.¹⁹

Portanto, os sistemas com pequenos números de variáveis prestam-se à modelagem, ao contrário dos sistemas com muitas variáveis: a única maneira para explicar seu comportamento é simulando-os, o que significa reconstituir sua história. Os cientistas naturais com certeza já se aperceberam disso, e não somente em relação ao clima. Eles sabem como é difícil especificar em que momento a areia deslizará, ou qual será a forma de um floco de neve, ou quando um terremoto ocorrerá.²⁰ Gould chegou até a reescrever a história da vida nesses termos, desafiando a antiga idéia da sobrevivência dos mais ajustados, sugerindo em vez disso que a contingência — cujos organismos habitam nichos evolucionistas hospitalares — tem um papel decisivo. Reprisar a fita cassete, caso fosse possível, produziria resultados diferentes: só a investigação histórica, por isso, pode explicar o que aconteceu na verdade. “Os métodos apropriados enfocam a narrativa”, ele insiste, “o experimento não é usualmente concebido.”²¹

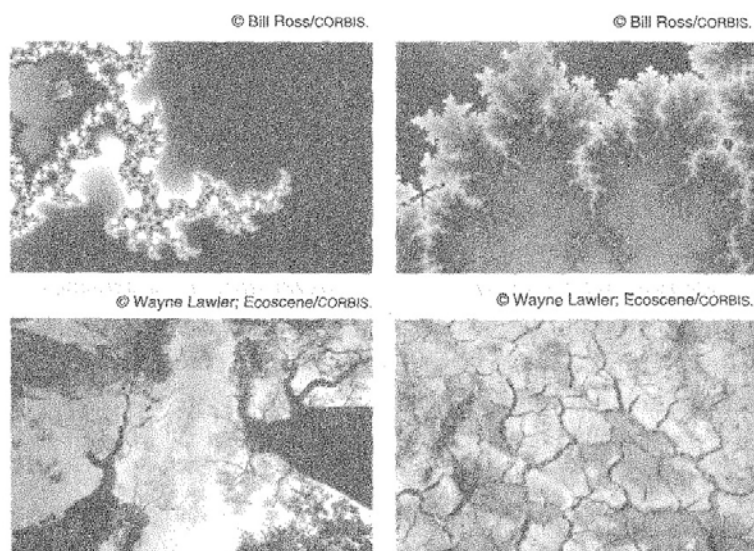
Esse é o significado do termo empregado pelos cientistas sociais — “*path dependency*” — processos evolutivos: um pequeno evento no início de um processo faz muita diferença em seu final.²² Os economistas Paul David e Brian Arthur, por exemplo, demonstraram que as tecnologias evoluem menos em razão de escolhas racionais feitas com base em informações precisas do que devido a acidentes históricos, no momento em que surgem as inovações. Seu exemplo mais famoso é o teclado da máquina de escrever, cuja configuração QWERTY agora é dificilmente o melhor dispositivo para tal máquina.²³ O cientista político Robert Putnam, curioso com o fato de que atualmente algumas regiões na Itália têm governos que funcionam enquanto outras não, encontrou a melhor explicação do ponto de vista histórico: de que as cidades-Estados têm uma forte consciência cívica há cinco ou mais séculos.²⁴ Os termos “construtivismo”, “behaviorismo” e “historicismo”, que começaram a ser empregados em ciência política, economia, e sociologia, refletem a importância do “*path dependency*”: eles oferecem uma base teórica para se levar a sério a história.²⁵

No entanto, deduções como essas suscitam diversas dificuldades para as previsões, pois, como Gould indicou, reprisar a fita cassete nesse sistema tão complexo nunca produziria o mesmo resultado. Qualquer confiabilidade no reducionismo para simplificar o passado, com o objetivo de antecipar o futuro toma-se ingovernável nessas situações, e voltamos à narrativa histórica fora de moda. Logo, o que um termo como *dependência sensitiva das condições iniciais* na verdade nos diz? Só, creio, que devemos ter uma nova percepção da narrativa como um instrumento mais sofisticado de pesquisa, dado que a maior parte dos cientistas sociais — bem como a maioria dos historiadores — ainda não percebeu.

V

Fractais. Já mencionei a famosa pergunta de Lewis Richardson: “Qual é comprimento da costa da Grã-Bretanha?”. A resposta, é claro, seria que depende das unidades com as quais se calcula: a mensuração em milhas, quilômetros, metros, pés, polegadas e centímetros produzirá resultados diferentes, e o mesmo problema presumivelmente se estenderá aos níveis das moléculas e dos átomos.²⁶

O versátil matemático de Yale, Benoit Mandelbrot, foi mais adiante com esse problema para demonstrar que existe uma outra espécie de mensuração que se pode realizar na costa da Grã-Bretanha, com uma única resposta: depende do grau de sua irregularidade e de sinuosidade. Ao se aplicar os princípios da geometria “fractal” — termo criado por Mandelbrot — na natureza, surge um fenômeno surpreendente: o da auto-similaridade através da escala. O grau de aspereza ou suavidade, de complexidade ou simplicidade, é sempre o mesmo, a despeito de observarmos em uma perspectiva micro ou macro, ou de qualquer ponto entre esses dois extremos.



Quatro fractais, os dois acima gerados em computador e os outros em estado natural.

Se dividirmos uma couve-flor em pequenos pedaços, as formas permanecem similares. Algo parecido ocorreria se buscássemos minúcias nas artérias, descargas elétricas, rachaduras em pavimentos, e mesmo nas formas das montanhas em horizontes próximos. Os sistemas de drenagem que vemos de um avião a 10 mil metros parecem ramos de árvores, os mesmos que podemos ver a 10 mil metros abaixo deles. Os padrões tendem a permanecer os mesmos, nesses sistemas, não importa a escala com a qual os observamos.²⁷

Os fractais, como a heroína do século XIX de Tom Stoppard, *Thornasina*, explica na peça *Arcádia*, são “um método pelo qual todas as formas da natureza podem desvendar seus segredos numéricos e ser interpretados através só de números”. Hannah, uma das personagens do século XX da mesma peça, apanha uma folha de maçã:

HANNAH: Então você pode fazer uma representação visual desta folha como ela é, reproduzindo-a repetidamente?

VALENTINE: Oh, sim, podemos... Se soubermos o algoritmo e alimentá-lo digamos dez milhões de vezes, em cada etapa haverá um ponto em algum lugar da tela. Nunca se sabe quando surgirá o próximo ponto. Mas, gradualmente, você começa a ver essa forma, porque cada ponto estará dentro da forma da folha. Isso não *seria* uma folha, mas um objeto matemático. E sim! O imprevisível e o predeterminado desdobram-se juntos para reproduzir as coisas como elas são.²⁸

Quais são as deduções que podemos tirar dessa história? Bem, começaremos com uma frase de E. H. Carr: “Isto não corresponde ao real, porque uma montanha toma formas diferentes segundo os diferentes ângulos da visão, e não tem objetivamente uma forma ou uma infinidade de formas.”²⁹ Carr usou essa inferência para atacar o relativismo: o argumento de que não há objetividade na história, e que qualquer interpretação de um historiador é tão válida quanto a de qualquer outra pessoa. O que isso sugere para mim, contudo, é que sem uma palavra precisa para exprimir sua observação, Carr compreendeu, instintivamente, o conceito da geometria fractal e percebeu sua conexão com a história. Porém, ele não foi o único.

Já vimos Macaulay, Adams e McNeill, em suas grandes obras, observando em minúcias ou com uma visão geral, as perspectivas micro e macro: a correlação se faz por uma espécie de auto-similaridade através da escala.³⁰ Michel Foucault construiu toda uma carreira demonstrando que padrões de autoridade permanecem praticamente os mesmos, tanto no nível do discurso, das famílias, das cidades, das instituições, dos estados, das nações e das culturas.³¹ Os estudos sobre regimes ditatoriais mostram um comportamento de seus dirigentes espargindo-se em um modelo similar em instituições regionais, locais, e mesmo vizinhas: é difícil ler os notáveis discursos de Victor Klemperer, por exemplo, sem perceber o anti-semitismo de Hitler disseminando-se por todos os níveis da sociedade germânica nazista, nos aspectos mais mundanos do dia-a-dia.³²

Entretanto, os fractais podem, creio, fornecer uma metáfora para um outro direcionamento do movimento: para o comportamento que surge espontaneamente na base, e gradualmente eleva-se para níveis mais acima. A reação contra o autoritarismo durante a segunda metade do século XX certamente caracterizaria, assim como a literatura de informática, a Internet,³³ e determinados desenvolvimentos inexplicáveis na cultura popular. Como, por exemplo, o fato de Elvis ainda ser visto com regularidade por seus admiradores, e um Beatle ter sido condecorado cavaleiro pelo governo britânico.

VI

Auto-organização. Este fenômeno causou entre os cientistas “exatos” e os cientistas sociais muitos problemas ao longo dos anos. Os físicos há muito tempo consideram a Segunda Lei da Termodinâmica, que estabelece que tudo no universo tende à entropia, ou “morte por radiação térmica”, universalmente aplicável; porém, esse princípio parece difícil de se conciliar com a tendência de algumas formas de vida, à medida que elas evoluem tornando-se mais complexas.³⁴ Os cientistas sociais, ao confrontarem fenômenos aparentemente anárquicos como mercados de valores, o sistema internacional de estados, encontraram dificuldades similares para explicar como a cooperação pode evoluir dentro dessas estruturas.³⁵

Mas os teóricos do caos demonstraram, no mundo físico, que padrões surpreendentes de regularidade podem existir em aparentes sistemas caóticos. O exemplo clássico é a Grande Mancha Vermelha de Júpiter, que reteve sua forma e tamanho desde que vimos pela primeira vez a superfície do planeta, apesar da sua atmosfera turbulenta. Algumas equações não-lineares, quando representadas graficamente nas telas dos computadores, produzem “estranhos atratores” que confinam processos imprevisíveis dentro de estruturas previsíveis.³⁶ Estudiosos em complexidade, utilizando programas de computadores, mostraram que um comportamento organizado pode emergir espontaneamente em simulações, nas quais unidades interagem umas com as outras segundo somente poucas regras básicas.³⁷

Todos esses fatos conduziram a um interesse crescente em sistemas complexos adaptáveis.³⁸ Como bandos de pássaros ou cardumes de peixes sabem como movimentar-se ao mesmo tempo? O que produz a alta e a queda de preços de ações nas bolsas de valores? Por que grandes impérios surgem gradualmente, exercem sua influência e, de repente e inesperadamente, se desintegram? Como pôde a Guerra Fria ter evoluído para a Longa Paz?³⁹

Os historiadores, é claro, há muito tempo se preocupam com o comportamento interativo das massas, das instituições e dos indivíduos. A ciência social tradicional com sua ênfase em procurar variáveis independentes nos deu poucos instrumentos para compreender essas relações. Mas as ciências naturais estão elaborando inferências interessantes, das quais tanto o historiador quanto o cientista social podem se beneficiar. Vale a pena mencionar duas delas.

A primeira refere-se a um padrão extraordinariamente simples subjacente à complexidade ao longo de uma ampla série de fenômenos: é a ubiquidade das relações entre o poder-lei. A idéia aqui é que a frequência dos eventos é inversamente proporcional à sua intensidade. Isso soa bem abstrato, até que o relacionamos aos terremotos. Na Califórnia, há centenas deles todos os dias. A maioria, no entanto, é imperceptível, registrando-se na categoria de três ou menos graus na escala Richter, cujos números de um a nove graus expressam a intensidade dos abalos sísmicos. Os terremotos das categorias quatro ou cinco podem ser sentidos, mas causam pouco ou nenhum dano e são, felizmente, menos frequentes, e os

terremotos realmente devastadores são muitíssimos raros. O padrão é de tal forma consistente que pode ser expresso matematicamente: dobre a energia descarregada em um terremoto e ele torna-se cerca de quatro vezes mais raro.⁴⁰

O interessante nesse aspecto é que a mesma relação poder-lei parece aplicar-se — como se fosse um fractal — através de ampla série de fenômenos, estendendo-se a aniquilações de espécies ou incêndios florestais, à quebra das bolsas de valores, e as baixas nas guerras. Há, aparentemente, uma estrutura comum subjacente, pelo menos, a uma suficiente variedade de fenômenos físicos, biológicos e humanos que Adams poderia ter considerado — caso tivesse tido conhecimento — como sua “grande generalização”. A conexão entre esses fenômenos é sua característica de instabilidade: o novo termo para isso é *criticalidade*, que significa simplesmente que um sistema contém em si mesmo uma dependência sensível nas condições iniciais e uma auto-similaridade através da escala. Portanto, existe a possibilidade de uma transição abrupta de uma fase para outra, e a semelhança desse acontecimento é inversamente proporcional à magnitude do evento quando ele ocorre.⁴¹

É possível detectar criticalidade em história? Podemos, em retrospecto: isso é o que fazemos quando traçamos a ascensão e queda dos impérios, o começo e o término das guerras, a difusão de idéias e tecnologias, a eclosão de pragas e a escassez de víveres, até mesmo talvez o surgimento de “grandes” homens e mulheres, cujas qualificações para “grandeza” dependem de sua capacidade de influenciar os outros.⁴² No entanto, se conseguiremos prever a criticalidade é outro assunto, que depende do que entendemos pela palavra, “previsão” neste contexto.

Caso isso signifique prever as relações entre intensidade e frequência — as forças do poder-lei — poderemos talvez fazê-lo de um modo muito tosco: quanto mais intensidade, menor será a frequência, dado um fator que seremos capazes de calcular. Mas se isso significa prever *quando* uma situação específica vai atingir uma condição de intensidade máxima — uma guerra catastrófica, por exemplo, ou a repercussão de uma revolução — então certamente não conseguiremos: a interseção das variáveis só pode ser reconstruída em retrospecto. Se, todavia, tentamos determinar quem provavelmente sobreviverá a essas convulsões sociais e quem, talvez, possa se beneficiar delas, então existe no mínimo alguma razão para pensar que isso é factível, com base em uma percepção mais abrangente, advinda do trabalho dos cientistas naturais sobre auto-organização.

Essa premissa sugere que os sobreviventes são os organismos que precisam se adaptar frequentemente — mas não com tanta assiduidade — ao inesperado. Um meio ambiente controlado é ruim porque você se torna complacente, acomodado e incapaz de lidar com os desequilíbrios que, por fim, ocorrem. Mas um cenário totalmente imprevisível tem pouco espaço para consolidação e recuperação. Existe, então, um balanceamento entre os processos desintegradores e integradores em um mundo natural — a divisa do caos, assim dizendo — em que a inovação, sobretudo por meio da auto-organização ocorre normalmente.⁴³

*Não é preciso afirmar que algo similar também pode aplicar-se ao mundo social, político e econômico, como McNeill concluiu com uma observação que teria, fascinado Henry Adams: “Novas formas surpreendentes de comportamento coletivo surgem de aparentes indícios espontâneos de níveis crescentes de complexidade, tanto nos níveis físicos, químicos, biológicos ou simbólicos. Isso me surpreende como o principal tema unificador que percorre tudo o que conhecemos, ou que pensamos conhecer sobre o mundo à nossa volta”*⁴⁴

VII

Em seu interessante livro *Complexity*, M. Mitchell Waldrop descreve um encontro entre físicos e economistas realizado no Instituto Santa Fé há alguns anos. Penso que isso pode tornar-se um símbolo do ponto crucial da história intelectual de nossos dias — assim como o encontro de Adams com Poincaré há um século:

À medida que os axiomas, os teoremas e as provas caminham através da tela de projeção, os físicos só podem ficar perplexos com as proezas matemáticas [dos economistas] — estupefatos e abismados. “São boas demais”, disse um jovem físico que se lembra de haver balançado a cabeça em descrença. “Parece que eles

ficaram tão fascinados pela concepção matemática a ponto de não poderem, visualizar a floresta, através das árvores. Tanto tempo foi despendido tentando absorver a matemática que penso que, com frequência, eles não se detinham sobre o significado dos modelos, e o que eles fizeram, e se os pressupostos subjacentes eram válidos. Em muitos casos, só teria bastado o bom senso.⁴⁵

Lembrem-se de que é um físico falando de *economistas*. Esse trecho indica algo importante: que as ciências sociais mudaram dramaticamente durante o século XX, mesmo que os cientistas sociais tenham tentado basear muito de suas ações nas ciências dos séculos XIX e precedentes.⁴⁶

Logo, como fica a posição dos historiadores que nunca deram primazia ao modelo-padrão das ciências sociais? Ficamos, creio, na situação de quem se encontra no limiar de uma revolução, persistindo em uma postura reacionária. Sem termos sido premidos a fazer nada diferente — na verdade, sem mesmo termos realizado, em grande parte, o que acontecera — encontramos-nos, ao menos no sentido metafórico, praticando as novas ciências do caos, da complexidade, e até mesmo da criticalidade. Somos como o burguês fidalgo de Molière, que ficou estupefato ao descobrir que falara em tom de prosa toda a sua vida.⁴⁷

A conexão buscada por Adams entre ciência e história parece agora quase factível, de uma forma que não violenta, nem o trabalho dos cientistas nem o dos historiadores. Como em qualquer sistema complexo adaptável, ambos podem, beneficiar-se da troca de estímulos, porque já conhecem bastante o que os cientistas só estão descobrindo agora como um dos mais sofisticados de todos os métodos de pesquisa: a narrativa. E, com certeza, as ciências sociais — as últimas a se apegarem à antiga visão científica — terão de se adaptar a esse novo cenário caso queiram ser vistas como ciências em toda a acepção do termo.⁴⁸ Muitas delas estão — quase literalmente — à beira do caos.

Os historiadores estão bem posicionados para servir como ponte entre as ciências naturais e as ciências sociais. Mas primeiro é preciso reconhecer a posição estratégica que ocupamos na Grande Cadeia Interdisciplinar da Existência. Poucos historiadores, perceberam, como observado por McNeill, que

nossa profissão parece estar prestes a se tornar verdadeiramente imperial — compartilhando perplexidades e limitações com todos os outros campos do conhecimento, mesmo com os matemáticos mais resolutos e bem-sucedidos. Como até certo ponto os historiadores focam a atenção para o comportamento humano — e os historiados ecológicos estão estendendo seu domínio além dessa fronteira — podemos evocar com todo o mérito o pleito de discursar sobre as dimensões mais sutis e complexas do universo conhecido e desconhecido.⁴⁹

Podemos atingir essa consciência só olhando para fora ao invés de para dentro; e não termos nenhum motivo, como sucede, de sofrer qualquer complexo de inferioridade metodológica. “A inveja da física” não deve ser um problema, para os historiadores porque — ao menos metaforicamente — estamos realizando uma espécie de física todo o tempo.

Notas

- 1 The Education of Henry Adams: An Autobiography (*Boston: Houghton:Mifflin, 1961*), pp, 224,395.
- 2 A distinção entre “agregadores” e “desagregadores” origina-se de J. H. Hexter, *On Historians: Reappraisal of Some of the Masters of Modern History* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1979), pp. 241-43, embora Hexter a atribua a Donald Kagan. A síntese de Adams da Virgem e do Dínamo encontra-se no Capítulo 25 do livro *The Education*.
- 3 The Education of Henry Adams, pp.224, 396-98.
- 4 Ibid., p. 455. Ver também sobre Adams e o caos em N. Katherine Hayles, *Chãos Bound: Ordeúy in Contemporary Literature and Science* (Ithaca, N.Y.: Cornell University Press, 1990), pp. 61-90. Mais observações sobre Poincaré podem ser encontradas em Trink Xuan Thuan, *Chaos and Harmony, Perspectives on Scientific Revolutions of the Twentieth Century* (Oxford: Oxford University Press, 2001), pp. 75-81. E. H. Carr também ficara muito impressionado com Poincaré. Ver *What Is History?*, 2ª ed. (Nova York: Penguin, 1987, publicado pela primeira vez em 1961), pp. 58, 90.

- 5 James Gleick, *Chaos: Making a New Science* (Nova York: Viking, 1987), pp. 58, 90.
- 6 Tom Stoppard, *Arcadia* (Londres: Faber & Faber, 1993), pp. 44-46.
- 7 Para mais observações sobre engarrafamentos de trânsito e sua simulação computadorizada, ver Per Bak, *How Nature Works: The Science of Self-Organized Criticality* (Nova York: Oxford University Press, 1997), pp. 192-98; ver também Stephen Budiansky, "The Physics of Gridlock", *Atlantic Monthly* 283 (dezembro de 2000), 20-24.
- 8 William H. McNeill, "Passing Strange: The Convergence of Evolutionary Science with Scientific History", *History and Theory* 40 (fevereiro de 2001), 2. A questão foi também abordada por Niall Ferguson, "Virtual History: Towards a 'Chaotic' Theory of the Past", em *Virtual History: Alternatives and Counterfactuals*, ed. N. Ferguson (Nova York: Basic Books, 1999), pp. 71-72.
- 9 Stephen Jay Gould, *Times Arrow, Time's Cycle: Myth and Metaphor in the Discovery of Geological Time* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1987), pp. 120-23.
- 10 The Education of Henry Adams, pp. 226-28.
- 11 Thomas S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, 3ª ed. (Chicago: University of Chicago Press, 1996).
- 12 Niles Eldridge, *Time Frames: The Evolution of Punctuated Equilibria* (Princeton: Princeton University Press, 1985); também Stephen Jay Gould e Niles Eldridge, "Punctuated Equilibrium Comes of Age", *Nature* 366 (18 de novembro de 1993), 223-27.
- 13 Walter Alvarez e Frank Asaro, "What Caused the Mass Extinction? An Extraterrestrial Impact", *Scientific American* 263 (outubro de 1990), 78-84.
- 14 Para um argumento similar, porém mais restrito, ver John Ziman, *Real Science: What It Is, and What It Means* (Cambridge: Cambridge University Press, 2000), pp. 56-58; também Stephan Berry, "On the Problem of Laws in Nature and History: A Comparison", *History and Theory* 38 (dezembro de 1999), 124.
- 15 Como Gary David Shaw escreveu: "Qualquer acordo significativo quanto aos termos de discussão [entre cientistas evolucionistas e historiadores] poderia dar à história uma linguagem mais portátil de comparação e análise." "The Return of Science", *History and Theory* 38 (dezembro de 1999), 8.
- 16 O experimento de Lorenz está descrito em Gleick, *Chaos*, pp. 9-31.
- 17 David Hackett Fischer, *Historian's Fallacies: Toward a Logic of Historical Thought* (Nova York: Harper & Row, 1970), p. 174.
- 18 Bak, *How Nature Works*, pp. 49-84.
- 19 Stoppard faz uma observação similar em *Arcadia*, p. 48.
- 20 Estes e outros exemplos são tratados por Mark Buchanan, em *Ubiquity: The Science of History: or, Why the World Is Simpler than We Think* (Londres: Weidenfeld & Nicolson, 2000). Ver também. Berry, "On the Problem of Laws in Nature and History", pp. 126-23.
- 21 Stephen Jay Gould, *Wonderful Life: The Burgess Shale and the Nature of History* (Nova York: Norton, 1989), p. 277.
- 22 Para mais dados sobre "path dependency", ver Colin Elman e Miriam Fendius Elman, "Negotiating International History and Politics", em *Bridges and Boundaries: Historian, Political Scientists, and the Study of International Relations*, ed. Elman e Elman (Cambridge, Mass.: MIT Press, 2001), pp. 30-31.

- 23 Paul A. David, “Clio and the Economias of QWERTY”, *American Economic Review* 75 (maio de 1985), 332-37; W. Brian Arthur, “Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-in by Historical Events”, *Economic Journal* 99 (março de 1989), 116-31. Ver também, para uma discussão extensa sobre o trabalho de Arthur, M. Mitchell Waldrop, *Complexity: The Emerging Science at the Edge of Chaos* (Nova York: Simon & Schuster, 1992), pp, 15-98.
- 24 Robert D. Putnam com Robert Leonardi e Raffaella Y. Nanetti, *Making Democracy Work: Civic Traditions in Modern Italy* (Princeton: Princeton University Press, 1993).
- 25 Ver sobre esta questão Waldrop, *Complexity*, p. 50, Abordei esses movimentos mais amplamente no Capítulo 4.
- 26 Ver Capítulo 2.
- 27 Gleick, *Chaos*, pp. 94-96. Ver também Bak, *How Nature Works*, pp. 19-21; Thuan, *Chaos and Harmony*, pp. 108-10; e Benoit Mandelbrot, *Fractal Geometry of Nature* (Nova York: W. H. Freeman, 1988).
- 28 Stoppard, *Arcadia*, p. 47.
- 29 Carr, *What’s History?*, pp. 26-27.
- 30 Ver Capítulo 2.
- 31 James Miller, *The Passion of Michel Foucault* (Nova York: Doubleday, 1993), pp. 15-16.
- 32 *I Shall Bear Witness: The Diaries of Victor Klemperer, 1933-45*, 2 vols. trad. Martin Chalmers (Nova York: Random House, 1998-99). Ver também Stephen Kotkin, *Magnetic Mountain: Stalinism as a Civilization* (Berkeley: University of California Press, 1997); Sheila Fitzpatrick, *Everyday Stalinism: Ordinary Life in Extraordinary Times: Soviet Russia in the 1930s* (Nova York: Oxford University Press, 1999); e Ian Kershaw, *Hitler, 1936-45: Nemesis* (Londres: Penguin Press, 2000), em especial as páginas 233, 234, 249 e 250.
- 33 Quanto a este ponto, ver John Naughton, *A Brief History of the Internet: The Origins of the Future* (Londres: Weidenfeld & Nicolsen, 2000).
- 34 Waldrop, *Complexity*, pp. 286-87. Stephen Jay Gould observa que a tendência não existe em todas as formas de vida. Ver seu livro *Full House: The Spread of Excellence from Piam to Darwin* (Nova York: Harmony Books, 1996), em especial a página 197.
- 35 Kenneth A. Oye, “Explaining Cooperation under Anarchy: Hypotheses and Strategies”, em *Cooperation Under Anarchy*, ed. K. Oye (Princeton: Princeton University Press, 1986), pp. 1-2.
- 36 Gleick, *Chaos*, pp. 53-56, 137-53, 221-29; Thuan, *Chaos and Harmony*, pp. 101-3.
- 37 Waldrop, *Complexity*, pp. 272-86. Ver também Stephen Wolfram, *A New Kind of Science* Champaign, ILL.: Wolfram Media, 2002).
- 38 John H. Holland, “Complex Adaptive Systems”, *Daedalus* 121 (inverno de 1992), 17-30.
- 39 Para uma discussão metodológica antiga sobre esta questão, ver John Lewis Gaddis, *The Long Peace: Inquiries into the History of the Cold War* (Nova York: Oxford University Press, 1987), pp. 215-45.
- 40 Buchanan, *Uhiquity*, pp. 37-38,
- 41 Bak, *How Nature Works*, pp. 1-32; Buchanan, *Ubiquity*, pp. 85-100.
- 42 *Ibid.*, p. 200. Para outras observações sobre “grandeza”, ver Capítulo 7.
- 43 Waldrop, *Complexity*, pp. 294-94.
- 44 McNeill, “History and the Scientific World View”, p. 10, enfatiza o original.

45 Waldrop, *Complexity*, p. 140.

46 Berry, "On the Problem of Laws in Nature and History", p. 126.

47 Este ponto foi exposto por Prestou King, *Thinking Past a Problem: Essays on the History of Ideas* (Londres: Frank Cass, 2000), p. 243.

48 Para mais provas que esta adaptação já está ocorrendo no campo da teoria em relações internacionais ver, além das obras citadas neste capítulo, James N. Rosenau, *Turbulence in World Politics: A Theory of Change and Continuity* (Princeton: Princeton University Press, 1990); Jack Snyder e Robert Jervis, eds., *Coping with Complexity in the International System* (Boulder: Westview Press, 1993); Judith Goldstein e Robert O. Keohane, eds., *Ideas and Foreign Policy: Beliefs, Institutions, and Political Change* (Ithaca, N.Y.: Cornell University Press, 1993); Steven Bernstein, Richard Ned Lebow, Janice Gross Stein, e Steven Weber, "God Save Physics the Easy Problems: Adapting Social Science to an Unpredictable World", *European Journal of International Relations* 6 (2000), 43-76; e William R. Thompson, *Evolutionary Interpretations of World Politics* (Nova York: Routledge, 2001).

49 McNeill, "Passing Strange", p. 2.

MARXISMO SEM UTOPIA

Jacob Gorender
Editora Ática - São Paulo, 1999.

Capítulo I

Da utopia à ciência

Tal como se constituiu desde *A ideologia alemã* ao *Manifesto do partido comunista*, o projeto político e intelectual de Marx e Engels consistiu em retirar a idéia do comunismo do âmbito da utopia e assentá-la sobre fundamentos científicos. Decorrente desta diretriz axial, colocou-se a crítica da ideologia burguesa. Em *O capital* tal crítica se fez, conforme anuncia o subtítulo da obra, como crítica da economia política, o que, no caso, dizia respeito principalmente à economia política clássica de Smith e Ricardo.

Hoje, num arco que vai da própria esquerda à direita, o marxismo recebe a qualificação depreciativa de utopismo. Já no século passado, Bernstein denunciava o comportamento *utopista* de Marx ao colocar uma tese firmada antes de sua comprovação pela investigação científica. A conclusão já estaria pronta no momento em que a pesquisa se iniciava. O argumento acerca do utopismo marxista se difundiu e agora é esgrimido pelos porta-vozes da direita liberal, como Roberto Campos.

Todavia, não deixa de ser intrigante a constatação de que o termo utopia foi recentemente apropriado pela esquerda, inclusive por adeptos do marxismo, com uma valoração positiva. Fala-se na necessidade de uma nova utopia, entendendo-se que, de fato, o marxismo seria a “velha utopia”. Sendo assim, a direita teria razão, porém não sua valoração pejorativa. Afinal, o que se pretende dizer é que a luta pelo socialismo só avança se nos fixarmos um objetivo utópico.

Nesses termos, sofre alteração o próprio conceito de utopia. Não mais fantasia irrealizável, o projeto utópico entra no campo das possibilidades. Por isso mesmo, faz-se referência a utopias possíveis.

Todas estas metamorfoses e confusões semânticas aconselham o exame do projeto de Marx e a forma de sua realização.

Na década de 40 do século passado, o pensamento socialista europeu estava dominado pelos projetos utópicos de sociedades perfeitas, cujo advento dependeria da boa vontade dos poderosos. Mas na Inglaterra já atuava um partido operário — o partido chamado dos cartistas —, que se propunha o objetivo bem mais modesto, e por isso factível, de conquistar direitos políticos democráticos para os trabalhadores. Marx e Engels extraíram daí a conclusão de que era necessário transferir o movimento operário do terreno das seitas utópicas conspirativas ao terreno da luta política, nos termos em que ela concretamente se desenvolvia. Ou seja, passar da atividade sectária à luta de classes com caráter de massas. Contudo, ainda que não mais se tratasse de perseguir sociedades ideais perfeitas, o objetivo político dos comunistas precisaria assentar sobre certezas. Seria impraticável e inviável propor a uma classe social oprimida os riscos e sacrifícios de lutar por projetos de antemão marcados por dúvidas e imprecisões características de idealizações.

Uma vez que não poderia advir da religião, a certeza teria de ser buscada no terreno da ciência. O racionalismo iluminista deu à ciência o prestígio ideológico de categoria suprema do pensamento. Se este prestígio era indiscutível no âmbito das ciências naturais e exatas, já estava no ar a idéia da viabilidade de uma ciência social, tão respeitável quanto as ciências naturais. Marx, sem dúvida, foi caudatário deste ambiente intelectual que encontrou ao iniciar seu próprio trajeto. Como homem do século XIX, imbuíu-se de confiança ilimitada na ciência e considerou perfeitamente exequível a tarefa de fundar uma ciência social, desde que ancorada na economia política, cuja plenitude como ciência da anatomia da sociedade seria adquirida assim que se despojasse da estreiteza da orientação ideológica burguesa.

O fracasso das construções sociais inspiradas no marxismo, implementadas no decurso do século

XX, põe em questão a busca marxiana da fundamentação científica para a idéia do comunismo. Terá o empreendimento fracassado com essas construções ou dele algo se salvaria? Deveremos abandonar de vez a pretensão científica ou cientificista e pleitear não mais do que uma nova utopia? Como lutar sem ter certezas?

No campo dos adeptos do marxismo, há ainda quem considere que está tudo certo. Se houve derrotas, se a União Soviética desapareceu, isto se deve a traições de partidos e de personalidades. Os traidores podem ser os social-democratas (Kautsky, indefectivelmente), como podem ser Stalin ou Kruchov ou Gorbatchov ou todos eles juntos.

Mas há também aqueles marxistas que reconhecem erros e deficiências, porém não pensam mais do que em atualizações e preenchimentos de lacunas, como, por exemplo, no que concerne à condição das mulheres e à preservação ecológica do planeta. Algumas complementações, e o marxismo se poria *up to date*.

Da minha parte, pretendo examinar o cerne da obra de Marx e Engels. Descobrir a arbitrariedade porventura existente nas suas seqüências discursivas, mas, principalmente, a discrepância entre suas teses e a resposta prática. O critério da prática, consubstanciai a toda ciência e reivindicado especificamente pela filosofia marxista, deve ser aplicado ao próprio marxismo. Dessa maneira, poderemos alcançar algum esclarecimento sobre o êxito do objetivo de Marx de passar da utopia à ciência. Poderemos talvez descobrir e confirmar o caráter utópico de toda a construção marxiana ou, ao menos, de aspectos dela. Poderemos colocar em questão a própria necessidade ou a viabilidade de uma fundamentação científica para a idéia do socialismo e do comunismo.

No *Manifesto do partido comunista*, Marx e Engels escreveram: “A importância do socialismo e do comunismo crítico-utópicos está na razão inversa de seu desenvolvimento histórico”.

Uma vez que a luta de classes se desenvolveu — argumentaram os autores do célebre documento —, as fantasias utópicas perdem todo valor prático e toda justificação teórica.

À maneira de paráfrase, é hoje possível constatar que o utopismo comunista floresce na razão inversa da força do movimento prático-real. Expandiu-se na fase juvenil, pré-marxista, do movimento comunista e encolheu-se quando o movimento ganhou expressão prático-concreta poderosa. Agora o utopismo comunista voltou a se expandir, em concomitância com a desaceleração ou, talvez, com a senectude irreparável do movimento prático-real que se proclama comunista.

Crítica da realidade, mas crítica fantástica, o utopismo, por si mesmo, é indício de fraqueza. É a força da fraqueza. Recorre-se à fantasia porque a realidade prático-concreta nega suporte ao objetivo proclamado.

Será, então, utópico — sem ressalvas — o objetivo da sociedade comunista?

Ou foram inadequados os meios para chegar a este objetivo?

Da resposta a tais questões dependem as conclusões a respeito do destino do próprio marxismo.

A idéia do fim da história ganhou notoriedade momentânea e hoje seu autor entrou no rol daqueles que tiveram os quinze minutos de fama e depois foram retirados de cena. Mas a própria idéia impregna a propaganda midiática e faz parte da essência do que se pode e deve chamar de ideologia burguesa. Falando pela voz dos seus ideólogos, a burguesia se acredita o ápice da aventura histórica da espécie humana. O desmoronamento dos regimes comunistas do Leste Europeu trouxe algo como uma contraprova empírica supostamente indiscutível a esta convicção ideológica. Ainda mais porque nenhuma definição sequer conceitual se mostrou até agora convincente a respeito do que pode ou terá de ser a sucessão da formação social burguesa.

O exame das vicissitudes do marxismo teórico e prático é, por isso mesmo, tanto mais oportuno e necessário. Sem conclusões antecipadas, que simplesmente pairam no ar enquanto não são confirmadas pela prova discursiva e/ou factual.

...

Capítulo IV

Sistema, estrutura e incerteza

Marx concebeu os modos de produção como sistemas dotados de estrutura própria e de leis específicas. Os expoentes da teoria econômica clássica e neoclássica não miravam senão um único sistema em toda a história — o sistema capitalista. Somente este seria conforme à natureza humana, de tal maneira que tudo o que o antecedeu não passaria de um acúmulo de imperfeições, erros e aberrações. Marx concebeu a trajetória histórica da humanidade como uma sucessão de sistemas econômicos, os quais, apesar de diferenciados, tiveram todos uma existência legitimada pela racionalidade no momento próprio. O fio condutor da sucessão e da diferenciação seria o desenvolvimento das forças produtivas. A humanidade tem história precisamente porque desenvolveu suas forças produtivas.

Um sistema só pode existir se tiver estrutura definida, dotada de estabilidade enquanto o sistema estiver em funcionamento. Tal estrutura implica conexões internas determinadas. Em conseqüência, o funcionamento do sistema se submete a leis também determinadas. Um sistema pode estar sujeito a numerosas variações no seu funcionamento, porém, para que seja um sistema, não deverá ultrapassar o determinismo de certas leis. Caso contrário, despreendido de qualquer determinação, simplesmente sua estrutura se desagregará e ele perderá sua existência ou nem chegará a ter existência.

A concepção da categoria **lei** é indispensável, por conseguinte, para que se alcance a clareza e a precisão acerca da concepção histórica marxiana.

Apesar de atuar intelectualmente num século de prestígio dominante da ciência física, Marx não extraiu dela sua idéia de lei. Não teve em vista as leis **dinâmicas**, que se caracterizam pela uniformidade inflexível do efeito com relação à causa. Embora a idéia da lei dinâmica fosse dominante na física e nas demais ciências naturais de sua época, Marx elaborou sua própria idéia da lei vigente na esfera da sociedade humana como **lei tendencial**.

A lei é tendencial — como são todas as leis econômicas —, em primeiro lugar, porque exprime o resumo ou a média das variações casuais de certos fenômenos. Como escreveu Marx, a lei regula os acasos fenomenais e, por isso, “só se torna visível assim que esses acasos se agrupam em grandes massas”. Ao empregar a categoria acaso, Marx tem em vista variações que se compensam, de tal modo que não anulam a necessidade. Esta abre caminho através dos acasos precisamente pelo fato de que nenhum deles imprime sua marca definitiva no rumo das coisas. Uma vez que os acasos se compensam uns aos outros, resulta que, no fim, prevalece a lei reguladora, na medida precisamente em que se impõe enquanto tendência. Atuante na base econômica, a lei tendencial igualmente se afirma na esfera mais ampla da história. Também aí os acontecimentos aparecem como emaranhado de acasos (inclusive os que se referem aos indivíduos), sem que isto impeça a concretização do necessário. Ao contrário, o necessário necessariamente se manifesta através do casual.

A interação entre acaso e necessidade desfaz identificações com fatalismos históricos. A história se efetiva de maneiras variadíssimas, em vez de escorrer dentro de moldes absolutamente rígidos. Nem por isso a lei econômica ou a lei histórica têm a característica de mera probabilidade estatística. Ainda que possa ser tomada como média estatística, e que o seja sob certo aspecto, sua essência não deriva da simples probabilidade. Ao contrário, deriva também da necessidade. Ou seja, a lei expressa conexões necessárias entre categorias estruturais e funcionais. Assim, a lei é sempre causai e qualitativa. A sua atuação não é a expressão final de uma probabilidade afirmada na massa estatística dos fenômenos, mas a decorrência da causalidade essencial subjacente aos fenômenos.

Dedicando-se ao estudo do sistema ou modo de produção capitalista, Marx se empenhou em desvendar as leis que o faziam funcionar. Tais leis deveriam ter sua manifestação nas motivações que obrigam os homens a se comportarem de maneira definida, de acordo com expectativas mutuamente alimentadas.

Todavia, Marx destacou o objetivo da descoberta da **lei do desenvolvimento** do modo de produção capitalista. Não seria uma lei ao mesmo título que as outras, porém aquela lei que devia determinar a **direção da evolução** do modo de produção. Uma vez que o enfoque dialético privilegia a mudança e a

transformação, cabia evidenciar como isto ocorria ou deveria ocorrer no caso do sistema capitalista. A finalidade suprema de *O capital* residiu justamente na descoberta da lei natural do desenvolvimento do sistema capitalista, ou seja, a lei econômica do movimento da sociedade moderna, conforme escreveu Marx no “Prefácio” ao Livro Primeiro de sua obra máxima.

Ao estudá-lo do ponto de vista do desenvolvimento, Marx julgou estar de posse dos elementos objetivos probatórios de que o modo de produção capitalista intensificava suas contradições internas inexoravelmente. O objetivo do lucro — ao qual o condena sua natureza — leva o capital a propor-se um crescimento ilimitado. Mas o próprio capital constitui, por si mesmo, o limite ao seu crescimento. Por conseguinte, ao crescimento das forças produtivas. Chega o momento em que o crescimento delas requer a eliminação do capital como relação social dominante da produção. O próprio capital prepara este momento, na medida em que impulsiona a centralização dos meios de produção e a socialização do trabalho. Com a inexorabilidade de um processo natural, a produção capitalista produz — diz Marx — sua própria negação. A tendência histórica da acumulação capitalista conduz à superação da propriedade privada capitalista pela propriedade social, baseada na produção altamente socializada.

Marx possuía conhecimentos historiográficos suficientemente vastos para perceber a diversidade de trajetórias das numerosas sociedades diferenciadas pela geografia e a origem étnica. Recusava a autoria de uma teoria supra-histórica com a pretensão de explicar todas essas trajetórias. Afirmou que acontecimentos notavelmente análogos conduzem a resultados totalmente distintos quando ocorrem em meios históricos diferentes. Mas tais afirmações sempre vieram como ressalvas e qualificações em face do princípio orientador determinista de *O capital*. Compreende-se que Marx tivesse esboçado, num rascunho preliminar, o sumário das trajetórias históricas variadas dos diversos povos, resumindo-as num trajeto final, aquele que conduz ao surgimento do trabalhador desprovido de meios de produção e, por conseguinte, apto a se tornar o assalariado explorado pelo capital previamente acumulado sob a forma dinheiro. Assim, por mais diferentes que tenham sido os caminhos históricos percorridos pelos povos, todos eles, cedo ou tarde, conduzem ao capitalismo. O que significa a inevitável geração da classe proletária e das condições em que esta protagonizará a criação da sociedade comunista. O imanentismo materialista se transforma em teleologia. O comunismo aparece como a culminância do destino da espécie humana sobre o planeta Terra.

Os seguidores de Marx oscilaram entre o princípio orientador determinista e as ressalvas, prevalecendo largamente o primeiro. Daí a afirmação extremada sobre a substituição **inevitável** da formação social capitalista pela formação social socialista. Todo o esplêndido monumento que é *O capital* se converteu numa espécie de máquina que produz a certeza inabalável do advento do socialismo. Trata-se de uma tendência que se imporá com **férrea necessidade**. Ora, se o socialismo sucede inevitavelmente o capitalismo, por que não teria havido uma sucessão tão inelutável entre as formações sociais, no passado histórico da humanidade?

Antes que Stalin o fizesse, foi Lenin que comprimiu a história da humanidade na sucessão dos cinco modos de produção (comunismo primitivo, escravidão, feudalismo, capitalismo, socialismo). Stalin se limitou a copiar o mestre, apenas acentuando a idéia com a sua conhecida propensão para a simplificação esquemática. Tanto um como outro se inspiraram em Marx, ainda que este advertisse contra semelhante interpretação de sua obra.

O acaso e suas maravilhas

A questão, que se coloca, consiste na contradição (ao menos, aparente) entre a dinâmica **determinada** de um sistema (sem a qual não existiria como sistema) e a **indeterminação** de sua substituição por outro sistema.

O princípio da incerteza se fixou na mecânica quântica e é fundamental para a teoria cosmológica e para o estudo das estruturas químicas. A influência do acaso se tornou primordial para o estudo da evolução biológica. A teoria do caos elaborada por Edward Lorenz se revelou fecunda no ambiente original onde surgiu — a meteorologia — e na posterior aplicação a outros campos científicos.

Aqui convém precisar os conceitos de acaso e de caos.

Quando identificamos o acaso com o imprevisto, podemos atribuí-lo à nossa ignorância. O acaso só existe **para nós**, porque não conhecemos a causa do fenômeno. Se e quando viermos a conhecer esta causa, já não poderemos falar em acaso. Sem nenhuma dúvida, o avanço da ciência consistiu, no essencial, na substituição da atribuição de acaso pela atribuição de causalidade **determinada** no que concerne aos fenômenos. Sendo assim, somente provisoriamente caberia falar em acaso.

Mas existe o acaso que não deriva da ignorância do sujeito. Isto é, o acaso que consiste na atuação de fatores cuja intervenção é variável e, por conseguinte, impossível de prever. Tais fatores provocam efeitos igualmente imprevisíveis. **Por definição**, imprevisíveis, conforme veio elucidar a teoria do caos.

Talvez não se trate propriamente de impossibilidade de previsão, porém de impraticabilidade de conhecê-la. A rigor, todos os acasos, sem exceção, deixam de subsistir conceitualmente como tais, desde que cesse nossa ignorância a respeito da causa deles ou da probabilidade estatística, que resulta da massa aglomerada de tais acasos. Mas, no final de contas, a impraticabilidade de alcançar semelhante conhecimento equivale aí à impossibilidade.

A teoria do caos se fundou nos modelos matemáticos que aplicaram a idéia de Poincaré sobre a dependência hipersensível das condições iniciais. Variações ínfimas nas condições iniciais trazem mudanças de direção fora de previsão científica. Aqui, o acaso se integra como tal na explicação científica. Seja como previsão probabilista, seja como impossibilidade de previsão, em decorrência da dimensão (número ilimitado de variáveis) e da complexidade (número também ilimitado de eixos dos fenômenos).

Cabe deixar claro que o caótico não é sinônimo do aleatório, embora o aleatório também faça parte dos processos reais. O caos se compatibiliza conceitualmente com a estrutura e a determinação. Apenas substitui a invariância (por definição, sempre previsível e ocorrente, por exemplo, na reprodução das espécies vivas) pela variação imprevista e imprevisível. Por conseguinte, o sistemático, sem deixar de sê-lo, sem deixar de funcionar segundo leis determinadas, que lhe são específicas, pode evoluir conforme linhas variáveis. **A determinação intrínseca aos sistemas se conjuga à indeterminação de sua evolução e substituição por outros sistemas.**

Diferentemente do aleatório (característico do jogo de dados), o caos permite previsões razoáveis a **curto prazo**. A partir daí, são possíveis tantas variações que a previsibilidade deixa de ser factível.

Nesse caso de sistemas sujeitos a interferências caóticas, a evolução determinada pela estrutura se complementa com a influência do acaso. Rege aí o princípio da incerteza.

Em suma, os sistemas não poderiam ser sistemas, não poderiam sequer chegar a existir, se não estivessem sujeitos à **determinação** de leis e conexões internas reprodutíveis. Ao mesmo tempo, seu funcionamento implica e cria variações, que confluem para a **indeterminação** na sucessão de sistemas, na substituição de um sistema por outro.

As condições que fizeram da Terra o único planeta do sistema solar no qual surgiu a vida, e, depois, a vida autoconsciente e pensante, tais condições foram o resultado de acasos cumulativos. O resultado de um acúmulo enorme, senão infinito, de acasos, que poderia ter-se interrompido em qualquer elo da cadeia evolutiva e deixado de conduzir ao surgimento do *Homo sapiens sapiens*. Ao mesmo tempo, em cada conjunto de condições e em cada momento da evolução da matéria viva, esta assumiu as características deterministas de um sistema dado, inerente a cada ser vivo. A sucessão de um sistema a outro teve, assim, a interação entre determinação e incerteza.

A Terra não surgiu para a glória do homem e do seu presumido destino comunista. O próprio comunismo depende da conjugação entre determinação e incerteza. O homem é responsável pelo que fez na Terra e da Terra.

Já é tempo de **atualizar** o marxismo e lhe retirar a função de sucedâneo da teologia, se isto for possível. As ressalvas do próprio Marx à sua concepção da férrea necessidade não mais devem ser consideradas satisfatórias. Não apenas retrospectivamente, mas prospectivamente, tendo em vista a superação do capitalismo, cumpre introduzir o princípio da variação caótica e da indeterminação. A esta convicção nos levam precisamente as novidades históricas que Marx não previu, exatamente porque eram, por

definição, imprevisíveis.

Não se trata, aqui, da indeterminação decorrente da supremacia do imaginário, do simbólico, da autonomia dos homens com relação à atribuição de significações, conforme pretende Castoriadis. Já tive oportunidade de fazer a crítica a esta concepção, que não supera o marxismo simplesmente porque não oferece uma concepção alternativa efetivamente válida. As novidades históricas, geradoras de indeterminação, dizem respeito a intervenções inventivas da prática humana no terreno das atividades materiais, criadoras de meios objetivos de produção e de destruição. Os homens criam tais meios objetivos e julgam deter pleno controle sobre sua utilização. Não podem prever, contudo, todas as conseqüências desta utilização e se vêem diante de cursos históricos inesperados.

Nos capítulos posteriores terei oportunidade de me deter na questão dessas novidades. Agora limito-me a enunciar duas delas. Em primeiro lugar, a humanidade, desde há meio século, possui os meios para se autodestruir. Já apenas em face disso não se pode mais falar em férrea necessidade do socialismo. Em segundo lugar, a classe operária sofreu, nos últimos trinta anos, tão grandes mudanças em sua densidade social e em sua configuração que, hoje, deve-se submeter a graves interrogações sua capacidade para a realização da missão que Marx e os marxistas sempre lhe confiaram com a convicção do indubitável: a missão de ser o sujeito histórico da revolução socialista.

...

Utopia ou ciência

Ao enfrentar a questão do socialismo no nosso tempo, questão marcada pelo fracasso da experiência do século XX, reapresenta-se o mesmo dilema com o qual se defrontaram Marx e Engels, ou seja, o dilema da alternativa entre utopia e ciência. Já vimos como ambos optaram e o quanto se equivocaram: pretendendo-se científicos, ainda foram fortemente utopistas. Hoje, diante justamente do fracasso daquelas iniciativas, que se diziam motivadas por um projeto fundamentado na ciência, ganharam força os reclamos em favor da utopia. Reclamos de Hobsbawm e de Maler, pela utopia socialista. De Habermas e de Rorty, pela utopia social-democrata do Estado do Bem-estar. E até reclamos de Thurow, pela utopia de um capitalismo renovado e supostamente humanizado.

Variante do **marxismo utópico** é o **marxismo romântico**, conforme propõe Michael Löwy. Nesse caso, tratar-se-ia de enfatizar aquelas referências positivas de Marx e Engels ao passado comunitário da humanidade. A utopia é buscada no passado, idealizado e romantizado, do qual só se percebe o que corresponde à fantasia utópica.

Mas há quem nos advirta, como o faz Isaiah Berlin, contra as utopias ou contra os utopistas, os quais, no afã de realizar seus projetos, não medem meios nem medidas e impõem os sacrifícios mais terríveis àqueles que pretensamente deveriam ser os beneficiários das utopias. Os utopistas, uma vez dispendo dos meios do poder, obrigam os povos ou as classes sociais a se ajeitarem ao leito de Pro-custo da utopia e, para isto, não vacilam em praticar mutilações cruéis. Entendidas as coisas desse modo, poderíamos afirmar que Stalin quis pôr em prática a utopia do socialismo em um só país, o que o levou aos massacres repressivos e a uma das piores tiranias da história. E também utopista foi Pol Pot, cuja utopia igualitária encheu o Camboja de cadáveres.

As estatísticas compiladas pelo *Livre noir du communisme* deram repercussão intensificada a este argumento. Mesmo antes de realizar o escrutínio rigoroso que requerem, ainda que reduzíssemos as cifras à metade, como sugere Hobsbawm, teríamos de nos haver com uma hecatombe só superada pela Segunda Guerra Mundial. E seria, como acusa Bobbio, um sacrifício que deu em nada, sangue que escorreu pelo ralo da história e se perdeu na vala comum das incontáveis vítimas da perversidade do homem contra sua própria espécie.

Diante da expectativa da repetição dessa tragédia, deveríamos conformar-nos com a **sociedade aberta**, tal como a pensa Popper, e só empreender as reformas miúdas facilmente reversíveis, o que, na prática, significaria a eternização do capitalismo realmente existente?

O próprio capitalismo, em algum momento, não nos permitirá optar por esse gênero de reformas. Os desastres que provocará poderão exigir e impor exatamente o contrário, isto é, a iniciativa revolucionária profunda e irreversível.

É diante de semelhante perspectiva que se recupera e se recomenda o projeto socialista fundamentado na ciência. As energias utópicas, como se expressa Habermas, seriam poderosas mobilizadoras de forças coletivas, mas, a meu ver, também impedem que se tenha o senso de medida indispensável nas transformações sociais. A utopia pode manter acesa a chama da esperança, conforme insiste Rorty, sem que, todavia, saibamos o quanto apenas atua na condição de droga tranqüilizante. Por tudo isso, ganha atualidade a exigência de depurar o marxismo de suas vertentes utopistas e ancorá-lo firmemente na realidade concreta do nosso tempo. Ou seja, trata-se de passar o marxismo pela prova da história e retomar, incorporando a experiência adquirida em século e meio, a proposição de Marx e Engels de uma teoria socialista fundamentada na ciência. Mas, como deve ficar completamente claro, de uma ciência que inclui a indeterminação e o caos entre os seus paradigmas, que considera a incerteza como aspecto integrante ineliminável dos processos objetivos. Somente assim se evitará o viés do determinismo absoluto em que caiu a ciência do século XIX e se alcançará a concepção autenticamente dialética do determinismo.

Ao mesmo tempo, também deve ficar completamente claro que nenhuma violência se justifica, em nome de um projeto revolucionário, se atinge e golpeia as próprias massas trabalhadoras. A violência revolucionária só faz sentido quando alveja a classe exploradora, que é uma classe-elite e, por isso mesmo, necessariamente restrita. E assim mesmo não faz sentido se não se subordinar à ética revolucionária, que estabelece limites rigorosos à ação revolucionária. Se, pretensamente motivada pela ação revolucionária, a violência atinge e vitima grandes massas é porque está atingindo a própria classe-massa em nome da qual se exerce. As proporções que assumiu já são, por si mesmas, indicativas de que a repressão stalinista se praticou contra os trabalhadores — operários e camponeses —, e não contra a burguesia, então já inexistente na União Soviética.

FABRICANTES DE INSTRUMENTOS E CONSTRUTORES DE DISCIPLINAS: O CASO DA RESSONÂNCIA MAGNÉTICA NUCLEAR

Timothy Lenoir em colaboração com Christophe Lécuyer

Obra: Instituinto a ciência

Editora Unisinos - São Leopoldo, 2003

Historiadores da pesquisa industrial têm fornecido ampla evidência para se reescrever a narrativa-padrão de que a ciência foi produzida somente por pessoas em instituições acadêmicas e consumida, como conhecimento acadêmico aplicado, por cientistas e engenheiros industriais. Numerosos estudos dos laboratórios da Bell, General Electric e de vários institutos Kaiser Wilhelm têm enfatizado as contribuições de cientistas trabalhando na indústria para a ciência básica. A história da química e dos produtos farmacêuticos está repleta de exemplos de estimulação mútua entre laboratórios acadêmicos e industriais em pesquisa científica básica, bem como da contribuição das ambições dos químicos industriais para o crescimento do conhecimento científico básico e mesmo para a construção de novas disciplinas científicas. O recente trabalho em várias áreas de interesse para estudos sociais e econômicos da ciência e da tecnologia acrescenta apoio à idéia de que é preciso reconsiderar todo o espectro de suposições tradicionais a respeito das relações entre a universidade e a indústria na produção do conhecimento e de novas tecnologias. Desapareceu dos estudos recentes, por exemplo, a distinção tradicional entre ciência *pura*, básica ou fundamental e ciência aplicada. Dado o caráter multidisciplinar da maioria dos trabalhos científicos atuais e o caráter altamente instrumentalizado da maior parte da ciência básica, é cada vez mais difícil estabelecer distinções entre básico e aplicado em vários campos. Desapareceu também o modelo linear de inovação e desenvolvimento que caracterizava as explicações anteriores, substituído pela noção de inovação como um processo partilhado que incorpora o usuário como um adaptador e modificador da tecnologia; em suma, antes como um co-participante no processo de inovação do que como um receptor passivo de uma tecnologia de *caixa preta*. Essa noção de inovação como um processo social partilhado é também sustentada por estudos sociais e econômicos recentes das estruturas organizacionais necessárias para captar, apoiar e gerir a inovação no âmbito empresarial e industrial. Uma das características proeminentes de estudos recentes sobre inovação é uma ênfase no papel de culturas locais, comunidades de prática e conhecimento situado na geração e acumulação de inovações dentro de organizações. Em vez de pensar em grupos como entidades fechadas que residem dentro de uma organização e sua concepção de tarefas, essa perspectiva, mais produtivamente, considera que tais grupos são fluidos e interpenetráveis e que frequentemente cruzam as fronteiras restritivas da organização para incorporar pessoas de fora. O foco, nesses estudos sobre inovação, em redes de troca partilhadas e interativas imbrica-se bem com trabalhos recentes sobre regiões de ciência, particularmente sobre a importância de redes horizontais, abertas, embora altamente competitivas, de troca de informação e vazamento de conhecimento em regiões de alta tecnologia. Vários estudos recentes têm observado a importância de valores e da cultura partilhados em exemplos bem-sucedidos de conhecimento inovador e transferência de tecnologia. A inovação em alta tecnologia exige experimentação e aprendizagem, a combinação rápida e a recombinação de habilidades locais e conhecimento. Saxenian argumentou que formas flexíveis de organização que encorajam a ligação interdependente de empresas e instituições educacionais e de treinamento públicas e privadas em redes sociais ativas, em vez das formas corporativas verticalmente integradas de uma era industrial anterior, são particularmente conducentes ao crescimento de indústrias de alta tecnologia dependentes de uma inovação rápida, contínua. A mera aglomeração de unidades auto-suficientes na mesma área é insuficiente para encorajar a inovação e a adaptação em situações de mudança; a proximidade geográfica deve ser suplementada por estruturas sociais e instituições que encorajem a partilha de informação, confiança mútua e colaboração.

Essa série diversificada de trabalhos sugere que consideremos a produção de conhecimento relevante para redes de tecnociência no tocante a um modelo de relações universidade-indústria, que

estenda a produção de conhecimento para muito além das paredes da universidade. Em vez de tratar relações universidade-indústria como organizações fechadas, nitidamente delimitadas, pode ser frutífero pensar nas universidades como participantes de uma comunidade de conhecimento situado e tratar a estrutura disciplinar da universidade como parte de uma economia de conhecimento regional. De fato, Bruno Latour e Michel Callon elevaram esse princípio a uma condição constitutiva em sua teoria da *rede de atores*, uma abordagem que ganha apoio empírico do trabalho - entre outros - de Erich von Hippel sobre a inovação. Von Hippel observa que, por exemplo, inovações em produtos industriais frequentemente residem fora da organização, entre seus fornecedores e clientes. Poderíamos aplicar essa idéia, em termos mais gerais, a comunidades de conhecimento: fontes de inovação para produção de conhecimento dentro da universidade poderiam ser proveitosamente buscadas entre seus clientes e fornecedores. Focando o caso específico da Ressonância Magnética Nuclear (RMN), um campo de pesquisa em física surgido depois da Segunda Guerra Mundial, este capítulo traça sua transformação em uma disciplina de química analítica por volta da metade da década de 1960. Nosso objetivo, com tal exemplo, é analisar o papel das relações universidade-indústria na geração de novas tecnologias e o papel do parceiro industrial na criação de novos regimes de praticantes no âmago de jovens disciplinas científicas. A emergência de uma nova disciplina está tipicamente associada a um novo corpo de teoria científica, junto a uma coleção de aplicações, ferramentas de pesquisa e métodos de resolução de problemas. Embora reconhecendo que disciplinas favorecem e são compostas por diversas comunidades de prática, incluindo clientelas acadêmicas, clínicas, industriais e governamentais, estudos de disciplinas científicas focam, em sua maior parte, aspectos de institucionalização antes do que a construção de práticas científicas e técnicas. Em análises típicas, tópicos como a construção de uma sociedade científica, de uma revista científica e a criação de instituições acadêmicas para treinamento profissional têm prioridade, o que pode resultar em uma representação exagerada da importância da academia no processo de produção de conhecimento e construção de disciplinas. No entanto, se considerarmos que, de forma decisiva, uma nova disciplina está invariavelmente ligada a um novo instrumental e treinamento disciplinar-específico em seu uso e interpretação, então podemos fazer bem em considerar o papel do parceiro industrial, particularmente do fabricante de instrumentos, nesse processo. O foco no papel dos fabricantes de instrumentos no processo de formação de disciplinas foi explorado em um artigo inovador de Yakov Rabkin sobre o desenvolvimento da espectrometria de infravermelhos em 1987, mas o apelo de Rabkin por mais estudos de instrumentos na formação de disciplinas não tem sido atendido. De fato, embora se afastando de algumas de suas teses, nosso próprio estudo apóia várias das alegações de Rabkin, particularmente sua alegação central a respeito do papel de companhias de instrumentos como a Perkin-Elmer e a Beckman Instruments na disseminação de técnicas de infravermelho a químicos da universidade.

Este capítulo examina a história inicial do desenvolvimento da RMN em laboratórios da Universidade de Stanford e na Varian Associates de Palo Alto, Califórnia. Ele sugere um papel mais ativo para a companhia comercial na constituição do objeto de pesquisa científica, bem como das técnicas, habilidades e padrões de prática interpretativa que vieram a constituir o âmago da disciplina como praticada por acadêmicos. Porque sua atividade principal é abastecer um mercado acadêmico, a Varian, ou qualquer companhia de aparelhos científicos, necessariamente se engaja em estreitas relações com essa comunidade, como parte de seu negócio. Este caso salienta o âmbito variado de ciência criativa, levado a cabo por cientistas que trabalham na indústria e sua participação na construção de um bem público, na medida em que buscam gerar conhecimento patenteados e vantagens de mercado. Um *insight* sobre tais casos pode iluminar relações entre a universidade e outros setores industriais em geral.

OS PRIMÓRDIOS DO CAOS DETERMINÍSTICO*

Ildeu de Castro Moreira

Obra: Caos, acaso e determinismo
Editora UFRJ - Rio de Janeiro, 1995

E vê primeiro, em cores variadas,
Do velho Caos a tão confusa face;
[Camões, *Os Lusíadas*, Canto VI, 10]

O desenvolvimento recente do estudo dos sistemas caóticos na física, na matemática e em outros ramos das ciências trouxe novos e importantes elementos de reflexão sobre uma questão fundamental na história das ciências: o papel do acaso e do determinismo no quadro conceitual construído pelo homem em sua tentativa de analisar e de prever o comportamento da natureza. Caudatária de uma longa história que remonta, pelo menos, aos pré-socráticos, essa questão foi sempre recolocada e vista sob nova ótica a cada transformação importante nas teorias físicas.

Introdução: o acaso e a necessidade

A palavra *caos* teve originalmente associado a ela um significado que se referia ao “estado desordenado antes da criação do universo” e à “grande confusão, desordem”. Hoje a palavra recebe, em acréscimo, um significado novo, mais específico, acerca do qual falaremos, de *comportamento aleatório ocorrendo em sistemas determinísticos*. Por sistemas determinísticos entenderemos qualquer modelo dinâmico baseado em regras bem definidas que associam, num determinado instante de tempo, valores unívocos às variáveis que descrevem o sistema, a partir do conhecimento dessas mesmas variáveis em instantes anteriores. O significado do termo *caos determinístico* refere-se, de maneira genérica, à propriedade de muitos sistemas determinísticos apresentarem grande sensibilidade a pequenas variações nas suas condições iniciais. Isto significa que, nesse caso, as incertezas experimentais, sempre presentes em qualquer mensuração física, crescerão muito rapidamente com o passar do tempo, levando a uma quebra do determinismo absoluto, mesmo no terreno da física clássica. Já os sistemas denominados *integráveis* — que, sabe-se hoje, são a exceção e não a regra entre os modelos descritos por relações não lineares — têm comportamento regular, periódico (ou quase) e, portanto, não caótico.

Já na antiguidade clássica a questão do determinismo e do acaso foi colocada ao se tentar “entender” os fenômenos naturais. Em 585 a.C, Tales de Mileto previu corretamente um eclipse. Um sucesso preditivo, que certamente influenciou as concepções determinísticas já existentes. Entre os pré-socráticos começou a ser forjada a visão de um comportamento necessário e bem regulado para o universo material. Leucipo sintetizou essa idéia numa frase que se tornou ponto de referência desde então: “Nenhuma coisa se engendra ao acaso, mas todas (a partir) da razão e por necessidade”.

Em Aristóteles, o princípio da causalidade deixava um lugar para a contingência pura, para o acidental, para aquilo que constitui o acaso. A ciência só se ocupa do geral e não se aplica ao fenômeno singular. Na época helenística, numa disputa importante, os estóicos afirmavam um determinismo rigoroso da natureza, enquanto os epicuristas rejeitavam o determinismo estrito. A idéia de uma “declinação” (*clinamen*) presente no movimento dos átomos se tornou responsável, mesmo entre filósofos materialistas, pela possibilidade do imprevisível, do novo. A presença dessa pequena declinação era suficiente para salvaguardar o livre-arbítrio da natureza. No *De rerum natura*

Se todo movimento é solidário de outro e sempre um novo sai de um antigo, segundo uma ordem determinada, se os elementos não fazem, pela sua declinação, qualquer princípio de movimento que quebre as leis do destino, de modo que as causas não se sigam perpetuamente às causas, donde vem essa liberdade que têm os seres vivos, donde vem este poder solto dos fados, por intermédio do qual vamos aonde a vontade

* Texto, com pequenas modificações, publicado no número especial da revista *Ciência Hoje*, março-abril de 1992.

nos leva e mudamos o nosso movimento, não em tempo determinado e em determinada região, mas quando o espírito o deseja?...

Cícero expressa, por sua vez, uma idéia oposta: a suposição de que uma inteligência superior poderia abarcar todo o conhecimento momentâneo sobre o universo e, a partir das leis necessárias que regem o comportamento do universo, prever todos os acontecimentos futuros com absoluta certeza. Leiamos Cícero:

Se houvesse um homem cujo espírito pudesse discernir as relações que ligam as causas entre si então, seguramente, não poderia se enganar nunca em qualquer predição que fizesse. Porque aquele que sabe as causas dos eventos futuros necessariamente sabe como cada evento futuro ocorrerá.

A questão do determinismo e do acaso atraiu muitos pensadores ao longo dos séculos subsequentes e trouxe, ligada a ela, uma perspectiva moral: a disputa entre o determinismo da natureza e o livre-arbítrio dos homens. Os pensadores religiosos e os teólogos debateram-na exaustivamente. No universo cristão da Idade Média começou a se firmar a idéia de um Deus que ditava as regras também do comportamento material, embora a imagem de uma natureza absolutamente ordenada tivesse dificuldade em ser aceita, diante das possibilidades permanentes dos milagres e da intervenção da graça divina. Por outro lado, a astrologia e a alquimia, com a concepção da existência de relações bem determinadas, de causa e efeito, entre os fenômenos, contribuíram também para o desenvolvimento de uma imagem da natureza baseada na crença em uma ordem racional, o que favorecia a busca de regularidades e a experimentação.

Da física de Newton ao demônio de Laplace

Com Galileu, Kepler, Newton, Leibniz e outros, o determinismo se liga à idéia de “lei natural” e àquela de “simplicidade da natureza”, e vai encontrar uma expressão precisa na formulação matemática das leis físicas. Em particular, a introdução progressiva da idéia de variação contínua dos parâmetros (noção de derivada) para a descrição local dos fenômenos físicos é essencial para precisar essa idéia e dar-lhe foros de um novo paradigma. Mas vamos observar que, mesmo Newton, ao tentar entender e prever o movimento da Lua — , um caso particular do chamado *problema dos três corpos*, onde interagem o Sol, a Terra e a Lua pela atração gravitacional — já se depara com as dificuldades matemáticas desse tipo de situação. Em 1702, escreve:

A irregularidade do movimento da Lua tem sido a justa lamentação dos astrônomos; sempre olhei para isto como uma grande desgraça que um planeta tão perto de nós como está a Lua, e que poderia ser tão maravilhosamente útil por seu movimento, tão bem como por sua luz e atração (...), tenha sua órbita tão incontavelmente variada que é, de certo modo, vão confiar no cálculo de um eclipse ou de uma passagem, que nunca é feita muito acuradamente. Se sua posição pudesse ser calculada precisamente, as longitudes dos lugares seriam achadas com grande facilidade em qualquer ponto em terra, e poderiam ser facilmente encontradas no mar sem ajuda de um telescópio, que não pode ser aí usado.

Para Newton as previsões feitas através do conhecimento das forças e das equações de movimento podem ser conhecidas com certeza; mas elas são parciais porque as forças somente não determinam o curso natural das coisas. Este papel é desempenhado também pelos princípios ativos. Para Newton há lugar para o determinismo das forças, coexistindo com a liberdade de Deus.

A construção, extensão e afirmação do paradigma newtoniano, baseado na idéia de forças que agem localmente e na descrição matemática através de equações diferenciais, se estende pelos séculos XVIII e XIX. O problema da integração destas equações, ou seja, o de calcular as funções que as satisfazem, é discutido nos trabalhos dos Bernoulli, de Euler, e de Lagrange em conexão com as diversas aplicações das idéias newtonianas à mecânica. Somente aqueles problemas que podiam ser resolvidos através de um número finito de operações algébricas e “quadraturas”, cálculo de integrais de funções conhecidas, eram considerados como solúveis (integráveis).

No entanto, ao abordar problemas mais complicados do que o movimento de sistemas mecânicos integráveis, os criadores da mecânica clássica se deparam, com freqüência, com situações onde sua matemática estanca. Euler, falando sobre as equações de movimento dos fluidos, diz:

Se não nos é permitido penetrar a um conhecimento completo sobre o movimento dos fluidos, não é à mecânica e à insuficiência dos princípios conhecidos do movimento que se deve atribuir isto, mas à própria análise que aqui nos abandona...

Mas a noção predominante, reforçada no ensino e nos livros — que tratavam unicamente dos problemas solúveis (o que ocorre ainda hoje, em boa medida) —, era a de que não haveria problemas que não pudessem ser integrados mas, apenas, problemas *ainda não resolvidos*. E o desenvolvimento das máquinas, aparatos construídos para terem um comportamento estritamente previsível, contribuiu certamente, com o seu sucesso, para o fortalecimento dessas idéias.

Os modelos nos quais vão se basear para estudar a natureza e os homens, em outros ramos do conhecimento, são aqueles atacados com sucesso preditivo pela mecânica. O pêndulo passa a simbolizar, talvez melhor do que qualquer outro sistema mecânico, a periodicidade e o comportamento previsível na natureza.

Já os fenômenos complexos como a turbulência dos fluidos, o movimento de corpos rígidos não simétricos, que a mecânica procurava já abordar, são deixados de lado, enquanto modelos. Na formação do paradigma mecanicista esses “detalhes” complexos são esquecidos ou remetidos para uma perspectiva de resolução futura e certa. Houve, no entanto, cientistas que resistiram a este predomínio filosófico do determinismo estrito. O próprio Euler, por exemplo, dispense muitas páginas para convencer o leitor da existência de eventos que escapam ao determinismo das leis mecânicas e que garantem o livre-arbítrio dos homens.

O sucesso grande das teorias desenvolvidas por Newton e seus sucessores, nas previsões sobre o movimento das marés, a forma da Terra, o movimento dos cometas, a existência de planetas, a dinâmica dos corpos etc. deram alento aos defensores do determinismo. Mesmo o cálculo das probabilidades, iniciado por Fermat e Pascal, embora introduza o elemento de chance na análise matemática, tem como pressuposto de fundo o determinismo mecanicista e a idéia de conexão causal. O surgimento dessa nova idéia pressupõe que a natureza seja tomada como um livro escrito por Deus, e ocorre *pari passu* com o desenvolvimento do determinismo mecanicista. O deus legislador do século XVI e XVII integra o determinismo e a probabilidade.

Nos séculos XVIII e XIX, com a “matemática social” de Maupertuis, Condorcet e Quetelet tenta-se estender, sem o mesmo sucesso, o modelo mecanicista para as ciências “morais e políticas”. Os conceitos e procedimentos do cálculo das probabilidades permitiam tratar eventos sociais através de “leis” estritas e estáveis à semelhança da física (pelo menos, era o que se imaginava). Em seu discurso de recepção na Academia de Ciências, em 1769, Condorcet afirmava:

Meditando sobre a natureza das ciências morais não se pode deixar de ver que, apoiadas como as ciências físicas sobre a observação dos fatos, devem seguir o mesmo método, adquirir uma linguagem igualmente exata e precisa, atingir o mesmo grau de certeza.

Essa esperança, em graus variados, está presente nos principais representantes do iluminismo. Mencionamos, de passagem, a ação fertilizadora que essas tentativas de matematização das ciências sociais, freqüentemente movidas por interesses econômicos de segurança social e influenciadas por fatores de ordem ideológica, filosófica e religiosa, trouxeram para o desenvolvimento dos estudos estatísticos.

No *Ensaio Filosófico Sobre as Probabilidades*, de 1814, Laplace introduz, dando prosseguimento e precisão à idéia surgida com Cícero, o conceito de uma inteligência superior, o chamado *demônio de Laplace*, que poderia abarcar todo o conhecimento futuro e passado:

Devemos, portanto, ver o estado presente do universo como o efeito de seu estado anterior, e como a causa daquele que virá. Uma inteligência que, em qualquer instante dado, soubesse todas as forças pelas quais o mundo natural se move e a posição de cada uma de suas partes componentes, e que tivesse também a capacidade de submeter todos esses dados à análise matemática, poderia encompassar na mesma fórmula os movimentos dos maiores objetos do universo e aqueles dos menores átomos; nada seria incerto para ele, e o futuro, assim como o passado, estaria presente diante de seus olhos... Todos os esforços na busca da verdade tendem a levá-la (a mente humana) cada vez mais próxima daquela inteligência que consideramos, mas que ainda permanecerá sempre infinitamente inatingível.

O fato dessa declaração, símbolo do determinismo estrito, ocorrer num tratado sobre probabili-

dades atesta, talvez, que o seu conceito de probabilidade está ligado às limitações do conhecimento humano. A ignorância de causas e de dados, fruto dessas limitações, e que tende a diminuir com o avanço do conhecimento, é compensada pelo uso da probabilidade no caso de eventos muito numerosos; daí a possibilidade de submeter ao método científico questões de variadas ordens: sociais, morais, políticas e jurídicas.

É importante se notar que, também nas situações experimentais, foram feitos registros de comportamento caótico (complexos e aperiódicos) de sistemas dinâmicos, em particular em mecanismos com movimentos vibratórios ou oscilatórios. Em 1840, o astrônomo e construtor de instrumentos G. B. Airy relata o comportamento de um dispositivo, um pêndulo girante, construído para a observação de estrelas fixas, através do movimento de um telescópio em oposição ao movimento de rotação da Terra. Ele observou que o dispositivo não era sempre estável mas, para certa velocidade de rotação, "... a máquina (se posso me expressar assim) tornou-se perfeitamente selvagem". Mas, como seu interesse estava ligado à construção de um aparelho de medida, máquina de comportamento regular e previsível, desconsiderou o domínio de variáveis em que esse comportamento complexo ocorria. Provavelmente outros estudiosos observaram fenômenos semelhantes, que sequer chegaram a ser registrados, por fugirem ao interesse do experimentador e por escaparem do domínio conceitual e analítico conhecido na época.

Livre-arbítrio versus determinismo:

de Maxwell a Poincaré

Na segunda metade do século XIX, dois momentos especiais surgem dentro de nossa perspectiva de análise. No primeiro deles, o desenvolvimento da Teoria Cinética dos Gases teve profundas consequências, na física ao gerar um modelo estatístico que descrevia sistemas com muitos graus de liberdade; o elemento estatístico entrava no desconhecimento das condições iniciais do sistema, constituído de um número muito grande de partes. Uma segunda série de acontecimentos refere-se à disputa acirrada entre pensadores católicos e materialistas sobre as relações entre ciência e religião. Em pauta a discussão sobre as teorias evolucionistas e os avanços das ciências físicas, em particular a lei da conservação da energia que, para o pensamento materialista, dispensava a existência de um princípio vital para se entender os organismos vivos. Retorna a cena — e aceso — o debate sobre o determinismo e o livre-arbítrio.

Na tentativa de resolver este impasse, duas respostas são oferecidas, em seqüência, pelos cientistas e filósofos críticos do determinismo estrito: numa primeira fase a validade da mecânica newtoniana é aceita, mas o seu caráter determinista é questionado no sentido físico. Os representantes mais nítidos desta posição são Boussinesq e Saint-Venant. Maxwell pode ser incluído neste contexto, mas, como veremos a seguir, destaca-se por uma percepção física e filosófica mais profunda da questão. Na segunda fase, já no final do século XIX, forja-se uma visão de lei natural, que torna as leis científicas contingentes em relação à liberdade criativa do homem. Essas idéias surgem com Boutroux, ganham corpo e formulação precisa em Duhem e vão influenciar profundamente Poincaré.

Começemos por Maxwell que vai, com grande originalidade, atribuir um caráter de incerteza intrínseca ao conhecimento estatístico, rompendo com a visão tradicional que associava a perspectiva causal aos cálculos probabilísticos. Mostra também uma visão surpreendentemente clara, aos olhos de hoje, das limitações físicas do determinismo absoluto. Em uma de suas conferências, de 1873, intitulada O Progresso das Ciências Físicas Tende a Dar Vantagem à Opinião da Necessidade (ou Determinismo) sobre aquela da Contingência dos Eventos e do Livre-arbítrio, Maxwell afirma:

É uma doutrina metafísica que os mesmos antecedentes produzem sempre os mesmos conseqüentes. O axioma físico, semelhante a esse, afirma que "de antecedentes similares seguem-se conseqüentes similares". Mas aqui passamos da igualdade para a similaridade, da precisão absoluta para uma aproximação mais ou menos grosseira. Há certas classes de fenômenos... nos quais um pequeno erro nos dados somente introduz um pequeno erro no resultado. O curso dos eventos nesses casos é estável. Há outras classes de fenômenos que são mais complicados, onde instabilidades ocorrem; e o número de tais casos cresce de maneira extraordinariamente rápida quando o número de variáveis aumenta.

Maxwell fala, então, de "pontos singulares" ou "limites de domínios de atração", onde um desvio

imperceptível é suficiente para levar o sistema a cair em domínios diferentes. São pontos onde influências, cuja magnitude física é muito pequena para ser levada em conta, podem produzir, posteriormente, efeitos de grande importância. Fornece exemplos ilustrativos desse tipo de situação: uma bola de bilhar chocando-se com outras que estão fixas, a explosão do algodão-pólvora, a refração da luz em um cristal biaxial, as pequenas ações humanas que provocam grandes alterações sociais etc. A partir disto, desenvolve também uma concepção instigante sobre os seres vivos e o livre-arbítrio. De acordo com ele, o número de pontos singulares, e portanto de situações onde variações muito pequenas podem mudar o curso dos acontecimentos, cresce com a complexidade do sistema. Assim, o homem teria o grau de livre-arbítrio mais elevado em função de sua maior complexidade.

O último parágrafo deste ensaio de Maxwell sintetiza uma visão premonitória inegável:

Se, portanto, os cultores da ciência física forem levados, (...) na busca dos segredos da ciência, ao estudo das instabilidades e singularidades, ao invés do estudo das continuidades e estabilidade das coisas, a promoção do conhecimento natural pode tender a remover aquele preconceito em favor do determinismo que parece surgir ao se assumir que a ciência física do futuro é uma mera imagem ampliada daquela do passado.

Um dos parceiros de Maxwell em suas discussões filosóficas, o engenheiro escocês B. Stewart faz, em 1875, uma descrição sugestiva dessas idéias e de suas relações com a conservação de energia e com o comportamento das máquinas:

Vemos que, relativamente à energia, existem estruturas de dois tipos na natureza. Em uma delas o objetivo em vista é a regularidade de ação, obtida por intermédio de um arranjo estável de forças naturais (exemplos: o sistema solar, o cronômetro, a máquina a vapor). Na outra, busca-se a liberdade de ação e uma transformação brusca de energia resultante de um arranjo instável das forças naturais. A primeira série de máquinas é caracterizada pela calculabilidade, a segunda pela incalculabilidade; a primeira, uma vez em atividade, é dificilmente alterada, a outra é caracterizada por uma grande delicadeza de construção.

E acrescenta: “Um animal é uma máquina delicadamente construída”.

Passemos ao físico francês J. Boussinesq. Em 1877 ele explora o paradoxo introduzido por Poisson (1806) onde se aponta a existência das chamadas soluções singulares, para certos sistemas de equações diferenciais. Estes sistemas apresentam situações de bifurcação, onde coexistem duas ou mais soluções, que podem ser utilizadas como um “mecanismo” para o livre-arbítrio; esse poderá optar por uma solução dentre uma multiplicidade delas, mecanicamente disponíveis. Boussinesq introduz então uma idéia, já circulando no contexto da época: a de um *princípio diretor* (o eu que julga e deseja) que permitiria aos seres vivos fazerem a escolha do “caminho” a seguir. Para ele as vias nunca se bifurcam no mundo inanimado, mas para os seres vivos elas o fazem satisfazendo, no entanto, às leis da mecânica.

Todos os personagens dessa fase têm alguns traços em comum. Fazem uma tentativa filosófica, com motivação religiosa, de conciliar o livre-arbítrio com o determinismo das leis da natureza. Além disso, pesquisam sistemas clássicos complexos: Maxwell (mecânica estatística, gases), Boussinesq (fluidos), Saint-Venant (elasticidade) e Stewart (engenharia e máquinas).

As idéias de Boussinesq tiveram repercussão na época, tendo recebido forte contestação. As críticas antecipavam já a mudança de perspectiva sobre o significado das leis da natureza que viria a seguir. Um passo importante nessa direção é dado por Emile Boutroux, com sua tese de 1874, denominada: *Sobre a Contingência das Leis da Natureza*. O argumento, neokantiano, de Boutroux é que as leis naturais são contingentes e não necessárias; nós criamos as leis científicas apesar de sermos dependentes da experiência ao fazê-lo. Longe de tornar indeterminada a certeza da liberdade moral, a nova filosofia da ciência que se inicia vai tornar indeterminada a certeza das leis físicas. A expressão mais acabada do convencionalismo então emergente pode ser encontrada no físico e filósofo da ciência Pierre Duhem.

Do final do século XIX provém a maior contribuição individual para o estudo dos sistemas complexos, de comportamento caótico. A questão mais importante, e que dá origem a uma seqüência de trabalhos científicos de grande relevo, é o *problema dos n-corpos*, originário do estudo da estabilidade do sistema solar, na mecânica celeste. Poincaré irá mostrar que o problema não é integrável no caso geral, podendo apresentar comportamentos extremamente complicados, mesmo se apenas três corpos interagirem gravitacionalmente. Introduziu também o que chamou de estudo “qualitativo” das soluções dos

sistemas dinâmicos em oposição ao estudo “quantitativo” até então predominante. Anteriormente, os analistas dedicavam seu interesse ao estudo de soluções individuais, enquanto a perspectiva cambiante de Poincaré leva-o a considerar as relações mútuas entre o conjunto de soluções. Além de desenvolver métodos poderosos e de demonstrar alguns resultados básicos, muitos dos temas abordados por ele, como estabilidade, periodicidade e comportamento genérico, tornaram-se dominantes no estudo atual dos sistemas dinâmicos.

No livro *Ciência e método*, publicado no início desse século, Poincaré expõe com muita clareza a problemática resultante da sensibilidade do sistema às condições iniciais. Alguns dos exemplos mais simples e interessantes de várias áreas das ciências são aí discutidos e poderiam ser tomados como ilustrações em qualquer livro moderno sobre sistemas caóticos. Mas, deixemos que ele próprio fale, numa passagem que relembra imediatamente as idéias expostas por Maxwell:

Uma causa muito pequena que escapa de nossa observação determina um efeito considerável que não podemos deixar de ver; dizemos então que efeito é devido à chance. Se soubéssemos exatamente as leis da natureza e a situação do universo no instante inicial, poderíamos prever exatamente a situação do mesmo universo em um momento posterior. Mas, mesmo se fosse o caso de as leis da natureza não serem segredo para nós, poderíamos ainda conhecer as condições iniciais somente “aproximadamente”. Se isto nos permitisse prever a situação posterior “com a mesma aproximação”, isto seria tudo o que queríamos, e diríamos que o fenômeno foi previsto, isto é, é governado por leis. Mas não é sempre assim: pode acontecer que pequenas diferenças nas condições iniciais venham a produzir diferenças muito grandes nos fenômenos finais. Um pequeno erro nos antecedentes pode produzir um erro enorme nos acontecimentos posteriores. A predição torna-se impossível e temos um fenômeno fortuito.

Em seguida, aponta as duas raízes principais para o surgimento da chance na natureza: a sensibilidade do sistema às condições iniciais, ou seja, a influência grande dos pequenos erros iniciais, mesmo se as leis da natureza forem inteiramente conhecidas; e a complexidade das causas, ou seja, o fato que, ao analisarmos qualquer sistema, sempre levamos em conta apenas parte das influências (forças) às quais o objeto está submetido. No entanto, afirma, “nada do que foi dito antes explica porque a chance é obediente a leis”.

Poincaré foi o primeiro a adquirir uma visão mais global da nova mecânica. Mas esta visão suntuosa, que começou a perceber e a delinear, não foi absorvida em sua época. E significativo, por exemplo, que tenha sido indicado sucessivamente para receber o Prêmio Nobel de física e isto nunca tenha ocorrido. Mas, em 1889, ganhou o prêmio estabelecido pelo rei da Suécia por seus trabalhos sobre o problema dos três corpos. O matemático brasileiro Jacob Palis tem chamado a atenção para o fato interessante que, na sua versão inicial, o trabalho de Poincaré apresentava um erro, não prevendo o aparecimento das chamadas trajetórias homoclínicas transversas, uma das fontes primárias do movimento caótico. No final do terceiro volume de seu livro *Métodos novos da mecânica celeste* (1899), Poincaré, assustado com a complexidade dessa curva, escreveu:

Quando se busca representar a figura formada por essas duas curvas e suas interseções em número infinito (...) essas interseções formam um tipo de tecido, de rede com malhas infinitamente emboladas... Espanta tanto a complexidade desta figura que não tento mesmo traçá-la!

Dotada dessa estrutura complicadíssima, sem exemplos, provas ou mesmo uma visualização geométrica rudimentar que pudesse atrair outros estudiosos, e escorada apenas na intuição fenomenal de seu descobridor, a questão das trajetórias homoclínicas aguardaria os trabalhos fundamentais de Birkhoff e de Smale nas décadas de 30 e 60, respectivamente.

Como Maxwell, Poincaré discernia com clareza que comportamentos complexos podem ocorrer mesmo em sistemas clássicos com poucas partículas, e que exigiriam o uso de métodos estatísticos para sua descrição; perceberam também as implicações físicas que a sensibilidade às condições iniciais traz para a concepção de um determinismo estrito. Poincaré levantou mesmo a franja que descobria uma nova área de estudos na matemática e na física. Mas, esta percepção não prevaleceu entre seus contemporâneos e nos anos que se seguiram.

O século XX

Embora não venhamos a considerar aqui os desenvolvimentos realizados neste século sobre o *caos determinístico*, é interessante se perguntar por que tanto tempo se passou antes que esse conceito se movesse da percepção de alguns cientistas para a posição de destaque que ocupa hoje, em várias áreas das ciências. Uma resposta parcial, parece-me, jaz no fato que a sacação ampla do significado do caos determinístico exige certas condições. A existência de modelos matemáticos suficientemente simples e possuidores de comportamento genérico, a identificação de áreas de aplicabilidade destes modelos em vários domínios da ciência e o uso dos computadores, em grande escala, no trabalho científico estão certamente entre elas. Se, com Poincaré, parte destas condições iniciais começava a ser satisfeita, o espalhar de mensagens gerais sobre a riqueza do comportamento de sistemas não lineares ocorreu lentamente. O interesse centrado nos comportamentos regulares abortou, também neste século, várias possibilidades de descoberta e reconhecimento de comportamentos caóticos, como, por exemplo, nos trabalhos sobre populações realizados pelos biólogos, a partir da década de 20, ou nos trabalhos sobre oscilações não lineares de Cartwright e Littlewood na década de 40. Mas, foram justamente trabalhos teóricos provenientes de vários domínios (sistemas dinâmicos, mecânica celeste, mecânica dos fluidos, oscilações não lineares etc.), que, aliados à utilização dos computadores em simulações específicas (em meteorologia, ecologia matemática, astronomia, mecânica estatística etc.) e às realizações experimentais em circuitos eletrônicos, ótica e mecânica dos fluidos, conduziram ao estado presente da arte.

E significativo registrar que o surgimento da teoria da relatividade e da mecânica quântica, no primeiro quartel deste século, alterou a discussão filosófica predominante no final do século XIX. Embora as questões anteriormente postas permanecessem essenciais, elas passaram a ser vistas sob nova ótica e sob novos acontecimentos. A partir de 1910 a polêmica sobre a relatividade se desencadeia e as idéias sobre causalidade, simultaneidade dos eventos e geometria do espaço-tempo ficam na ordem do dia. A mecânica quântica, por sua vez, irá proporcionar discussões intensas, a partir de 1925, em torno da descrição probabilística como sendo essencial (ou não) para a descrição dos fenômenos físicos. Einstein e Bohr são dois expoentes da polêmica que se desdobrou por décadas e que não se esgotou. As idéias quânticas hoje predominantes atribuem ao conceito de probabilidade e aos métodos estatísticos um papel constitutivo essencial na formulação das leis físicas. Embora tenham afetado profundamente nossa concepção acerca do comportamento microfísico, essas idéias não foram utilizadas operacionalmente por outras ciências em seus modelos descritivos. O paradigma, construído em torno da mecânica clássica, permaneceu como referência básica para a descrição de processos dinâmicos. Talvez as transformações que afetam agora a nossa visão da evolução dos sistemas não lineares, com a possibilidade de comportamentos caóticos, venham a ter uma repercussão maior sobre estes outros domínios. O novo chacoalhar do paradigma newtoniano-laplaciano certamente trará conseqüências filosóficas importantes sobre nossa visão do mundo macroscópico. A questão de encarar a “ordem” e a “desordem” da natureza como manifestações distintas de um mesmo determinismo subjacente torna-se um ponto de debate acirrado.

E indispensável que se destaque o papel dos computadores em toda esta história. A invenção deles trouxe contribuição decisiva para a percepção e a geração de idéias, métodos e teorias acerca dos sistemas caóticos. É muito mais profunda, no entanto, a sua influência. Com eles a base material das ciências e da tecnologia e o próprio fazer científico ficam afetados. Além do aumento extraordinário de nossa capacidade computacional, a simulação ocorre hoje nos laboratórios de todos os domínios das ciências, criando uma interface entre a teoria e a experimentação. Modificações conceituais importantes são induzidas e uma nova “intuição física” começa a emergir. Exemplifiquemos: o surgimento de novos conceitos ou sua ampliação (fractais, atratores estranhos, complexidade algorítmica, computação gráfica, inteligência artificial etc.); a utilização de modelos discretos para o espaço-tempo, em função dos procedimentos de cálculo e da organização física da memória da máquina; o debate sobre o papel dos computadores na demonstração de teoremas matemáticos; as questões de (in)decidibilidade e de (in)completude, colocadas desde os resultados de K. Gödel, que assumem agora um aspecto mais amplo. Não se pode desconhecer, no entanto, a relação dialética profunda entre os conceitos, teorias e técnicas que permitem a construção da base material, no caso a máquina computacional, e o retorno conceitual possibilitado pelos novos

horizontes abertos pela máquina.

Podemos certamente afirmar que algumas das idéias mais interessantes e originais da ciência moderna estão envolvidas no domínio dos sistemas dinâmicos não lineares. Isto tudo caracterizaria uma *nova revolução científica*, como muitos cientistas da área apregoam e a imprensa, às vezes, veicula? O crescimento acelerado das publicações científicas, do número de novas instituições interdisciplinares e da difusão dessas idéias nos meios de comunicação de massa parece indicar isto. De um ponto de vista mais geral percebe-se, no entanto, que a ciência é também permeada por “modismos” que surgem em razão de desenvolvimentos importantes, mas que são influenciados por interesses variados. Relações de poder e o aparato de comunicação tornam-se significativos na difusão de idéias e modelos, e na consagração dos autores. A existência de um “marketing científico”, que freqüentemente ultrapassa a fronteira do comportamento ético, é uma das expressões mais claras disto. O exemplo, ainda recente, da “teoria das catástrofes”, onde a extrapolação de modelos e resultados para inúmeras outras áreas da ciência foi feita sem critérios delimitativos mínimos, deve nos resguardar contra afirmações generalistas de que tudo é “caos” (*caotecismo*), ou de que tudo são “fractais” (*fractologia*), ou ainda de que, em qualquer movimento complicado, encontram-se “atratores estranhos”. É claro que a extensão analógica de conceitos e modelos, criados em determinada área do conhecimento, para outros domínios sempre foi um fator essencial para o avanço científico. Mas, muitas vezes, estas extrapolações terminam por gerar o dogma em contraposição a um conhecimento científico crítico. Em particular, nas áreas onde a complexidade inerente dos fenômenos analisados é muito maior do que na física, como no estudo do comportamento individual e coletivo na sociedade humana, é grande o risco de ocorrência de manipulações em nome da ciência e sob os auspícios da tecnocracia.

Só o passar do tempo poderá fornecer uma resposta mais conclusiva à questão posta acima. E ela dependerá, obviamente, do que se entender por “revolução científica”. A complexidade do processo histórico de construção de teorias e técnicas dificulta respostas bem demarcadas e precisas. Mas, a introdução dos computadores significa um marco definitivo no desenvolvimento da ciência contemporânea. E, sem dúvida, transformações significativas estão ocorrendo no domínio genérico de “não linear”, tanto no aspecto conceitual quanto no desenvolvimento de técnicas e instrumentos novos. A idéia recente do “controle do caos” coloca, por exemplo, interessantes perspectivas para a construção de máquinas com comportamento altamente flexível e adaptativo, e para a introdução de modelos matemáticos mais adequados à descrição dos organismos vivos.

Concluo que a afirmação vaga de que o *caos* é, ao mesmo tempo, velho e novo. Com o *caos determinístico* ressurgente novamente das cinzas o debate sempre quente sobre o determinismo, o significado das leis da natureza e nossa capacidade de prever os eventos futuros. Segundo muitos cientistas e pensadores estas são questões permanentes e globalmente indecidíveis. É provável que assim seja.

Bibliografia

Caos, *Ciência Hoje*, número especial, março-abril 1992.

STEWART, I.. Será que deus joga dados? A nova matemática do caos. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1991.

GLEICK, J.. *Caos: a criação de uma nova ciência*. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1990.

POMIAN, K. (ed.). *La Querelle du determinisme*. Paris: Gallimard, 1990.

La Science du Desordre, *La Recherche*, número especial, maio 1991.

NOEL, E. (ed.). *Le Hasard aujourd'hui*. Paris: Seuil, 1991.

HALL, N. (ed.). *The New Scientist Guide to Chaos*. Londres: Penguin, 1991.

TABOR, M.. *Chaos and Integrability in Nonlinear Dynamics*. New York: John Wiley & Sons, 1989.

OZÓRIO DE ALMEIDA, A. M.. *Sistemas hamiltonianos: caos e quantização*. São Paulo: Editora da UNICAMP, 1987.

O PARADIGMA COMPLEXO*

Edgar Morin

Obra: Introdução ao pensamento complexo (4ª. edição)

Editora Sulina - Porto Alegre, 2011.

Não se deve acreditar que a questão da complexidade só se coloque hoje em função dos novos progressos científicos. Deve-se buscar a complexidade lá onde ela parece em geral ausente, como, por exemplo, na vida cotidiana.

Essa complexidade foi recebida e descrita pelo romance do século XIX e início do século XX. Enquanto nessa mesma época, a ciência tenta eliminar o que é individual e singular, para só reter leis gerais e identidades simples e fechadas, enquanto expulsa até mesmo o tempo de sua visão de mundo, o romance, ao contrário (Balzac na França, Dickens na Inglaterra), nos mostra seres singulares em seus contextos e em sua época. Ele mostra que a vida mais cotidiana é, de fato, uma vida onde cada um joga vários papéis sociais, conforme esteja em sua casa, no seu trabalho, com amigos ou desconhecidos. Vê-se aí que cada ser tem uma multiplicidade de identidades, uma multiplicidade de personalidades em si mesmo, um mundo de fantasias e de sonhos que acompanham sua vida. Por exemplo, o próprio tema do monólogo interior, tão poderoso na obra de Faulkner, faz parte desta complexidade. Este *inner speech*, esta fala permanente é revelada pela literatura e pelo romance, assim como este também nos revela que todo mundo se conhece muito pouco: em inglês, chama-se a isto *self-deception*, mentir para si mesmo. Só conhecemos uma aparência de nós mesmos; enganamo-nos sobre nós mesmos. Mesmo os escritores mais sinceros como Jean-Jacques Rousseau, Chateaubriand, esqueciam sempre, em seu esforço de sinceridade, alguma coisa importante de si próprios.

A relação ambivalente com o outro, as verdadeiras mudanças de personalidade como acontece em Dostoievski, o fato de que sejamos agarrados pela história sem saber muito como, tal Fabrice Del Dongo ou o príncipe André, o fato de que o próprio ser se transforma com o passar do tempo, como o mostram admiravelmente *Em busca do tempo perdido* e, sobretudo, o final do *Tempo Reencontrado* de Proust, tudo isto indica que não é simplesmente a sociedade que é complexa, mas cada átomo do mundo humano.

Ao mesmo tempo, no século XIX, a ciência tem um ideal exatamente contrário. Este ideal se afirma na visão de mundo de Laplace, no início do século XIX. Os cientistas, de Descartes a Newton, tentavam conceber um universo que fosse uma máquina determinista perfeita. Mas Newton, como Descartes, tinha necessidade de Deus para explicar como este mundo perfeito era produzido. Laplace elimina Deus. Quando Napoleão lhe pergunta: “Mas senhor Laplace, que faz o senhor de Deus em seu sistema?”, Laplace responde: “Senhor, eu não necessito desta hipótese”. Para Laplace, o mundo é uma máquina determinista verdadeiramente perfeita, que se basta a si mesma. Ele supõe que um demônio possuindo uma inteligência e sentidos quase infinitos poderia conhecer qualquer acontecimento do passado e qualquer acontecimento do futuro. De fato, esta concepção que acredita poder dispensar Deus tinha introduzido em seu mundo os atributos da divindade: a perfeição, a ordem absoluta, a imortalidade e a eternidade. É este mundo que vai se desequilibrar, depois se desintegrar.

O paradigma simplificador

Para compreender o problema da complexidade é preciso saber primeiro que há um paradigma simplificador. A palavra paradigma é constituída por certo tipo de relação lógica extremamente forte entre noções mestras, noções-chaves, princípios-chaves. Esta relação e estes princípios vão comandar todos os propósitos que obedecem inconscientemente a seu império.

* Extraído de *Cultura, signos, críticas*. Imprensa da Université do Québec, 1988 (Cahiers recherches et théories, Coll. “Symbolique et idéologie”, no. S 16), p. 65- 87. Textos publicados sob a direção de Josiane Boulad-Ayoub.

Assim, o paradigma simplificador é um paradigma que põe ordem no universo, expulsa dele a desordem. A ordem se reduz a uma lei, a um princípio. A simplicidade vê o uno, ou o múltiplo, mas não consegue ver que o uno pode ser ao mesmo tempo múltiplo. Ou o princípio da simplicidade separa o que está ligado (disjunção), ou unifica o que é diverso (redução).

Tomemos o homem como exemplo. O homem é um ser evidentemente biológico. E ao mesmo tempo um ser evidentemente cultural, metabiológico e que vive num universo de linguagem, de idéias e de consciência. Ora, estas duas realidades, a realidade biológica e a realidade cultural, o paradigma de simplificação nos obriga a disjuntá-las ou a reduzir o mais complexo ao menos complexo. Vamos, pois, estudar o homem biológico no departamento de biologia, como um ser anatômico, fisiológico, etc. e vamos estudar o homem cultural nos departamentos das ciências humanas e sociais. Vamos estudar o cérebro como órgão biológico e vamos estudar a mente, *the mind*, como função ou realidade psicológica. Esquecemos que um não existe sem a outra, ainda mais que um é a outra ao mesmo tempo, embora sejam tratados por termos e conceitos diferentes.

Nessa vontade de simplificação, o conhecimento científico tinha por missão desvelar a simplicidade escondida por trás da aparente multiplicidade e da aparente desordem dos fenômenos. Talvez isso se desse porque, privados de um deus em quem não podiam crer, os cientistas tinham necessidade inconsciente de ser tranqüilizados. Ainda que se reconhecendo viver num universo materialista, mortal, sem salvação, eles tinham necessidade de saber que havia alguma coisa de perfeito e de eterno: o próprio universo. Esta mitologia extremamente poderosa, obsessiva ainda que escondida, animou o movimento da física. É preciso reconhecer que esta mitologia foi fecunda porque a pesquisa da lei maior do universo conduziu às descobertas de leis importantes tais como a gravitação, o eletromagnetismo, as interações nucleares fortes depois fracas.

Hoje, ainda, os cientistas e os físicos tentam encontrar o elo entre estas diferentes leis que fariam delas uma lei única verdadeira.

A mesma obsessão conduziu à busca da peça elementar com a qual se constituiria o universo. De início acreditou-se encontrar a unidade de base na molécula. O desenvolvimento dos instrumentos de observação revelou que a própria molécula era composta de átomos. Depois nos demos conta de que o átomo era ele próprio um sistema muito complexo, composto de um núcleo e de elétrons. Então, a partícula tornou-se a unidade primeira. Depois nos demos conta de que as partículas elas próprias eram fenômenos que podiam ser divididos teoricamente em quarks. E, no momento em que se acreditou atingir a peça elementar com a qual nosso universo era construído, esta peça desapareceu enquanto peça. É uma entidade fluida, complexa, que não se pode isolar. A obsessão da simplicidade conduziu a aventura científica às descobertas impossíveis de conceber em termos de simplicidade.

Além disso, no século XIX, houve este importante acontecimento: a irrupção da desordem no universo físico. De fato, o segundo princípio da termodinâmica, formulado por Carnot e Clausius, é no início um princípio de degradação de energia. O primeiro princípio, o princípio da conservação da energia, se faz acompanhar de um princípio que diz que a energia se degrada sob forma de calor. Toda atividade, todo trabalho produz calor, dizendo de outro modo, toda utilização da energia tende a degradar a dita energia.

Depois nos demos conta com Boltzman que o que se chamava de calor era, na realidade, a agitação desordenada de moléculas ou de átomos. Cada um pode verificar, quando começa a esquentar um recipiente de água, que surgem tremores e que um fervilhar de moléculas se efetua. Algumas se volatizam na atmosfera até que todas se dispersam. Efetivamente, chega-se à desordem total. A desordem está pois no universo físico, ligada a qualquer trabalho, a qualquer transformação.

Ordem e desordem no universo

No início do século XX, a reflexão sobre o universo se chocava a um paradoxo. De um lado, o segundo princípio da termodinâmica indicava que o universo tende à entropia geral, isto é, à desordem máxima e, de outro lado, revelava-se que neste mesmo universo as coisas se organizam, se complexificam e se

desenvolvem.

Enquanto nos limitávamos ao planeta, alguns puderam pensar que se tratasse da diferença entre a organização viva e a organização física: a organização física tende à degradação, mas a organização viva, fundada sobre uma matéria específica, muito mais nobre, tende ao desenvolvimento... Esquecíamos duas coisas. Primeiro: como esta própria organização física se constituiu? Como são constituídos os astros, como são constituídas as moléculas? Depois, esquecíamos de outra coisa: a vida é um progresso que se paga com a morte dos indivíduos; a evolução biológica se paga com a morte de inúmeras espécies; há muito mais espécies que desapareceram desde a origem da vida que espécies que sobreviveram. A degradação e a desordem concernem também à vida.

Então, a dicotomia não era mais possível. Foram necessárias estas últimas décadas para que nos déssemos conta de que a desordem e a ordem, sendo inimigas uma da outra, cooperavam de certa maneira para organizar o universo.

Percebemos isso, por exemplo, nos turbilhões de Bénard. Tomemos um recipiente cilíndrico no qual há um líquido, que aquecemos por baixo. A certa temperatura, o movimento de agitação, em lugar de aumentar, produz uma forma organizada turbilhonar de caráter estável, formando sobre a superfície células hexagonais regularmente ordenadas.

Com freqüência, no encontro entre um fluxo e um obstáculo, cria-se um turbilhão, isto é, uma forma organizada constante e que reconstitui sem cessar a si própria; a união do fluxo e do contrafluxo produz esta forma organizada que vai durar indefinidamente, ao menos tanto quanto dure o fluxo e enquanto o arco da ponte estiver lá. Isto é, uma ordem organizacional (turbilhão) pode nascer a partir de um processo que produz desordem (turbulência).

Esta idéia precisou ser amplificada de modo cósmico quando se chegou, a partir dos anos 1960-1966, à opinião cada vez mais plausível de que nosso universo, que se sabia estar em curso de dilatação com a descoberta da expansão das galáxias por Hubble, era também um universo de onde provinha de todos os horizontes uma irradiação isótropa, como se esta irradiação fosse o resíduo fóssil de uma espécie de explosão inicial. Daí a teoria dominante no mundo atual dos astrofísicos, de uma origem do universo que seja uma deflagração, um *big-bang*. Isto nos conduz a uma idéia espantosa: o universo começa como uma desintegração, e é ao se desintegrar que ele se organiza. De fato, é no curso dessa agitação calorífica intensa - o calor é da agitação, do turbilhonamento, do movimento em todos os sentidos - que partículas vão se formar e que certas partículas vão se unir umas às outras.

Assim vão surgir núcleos de hélio, de hidrogênio, e depois de outros processos, devido, sobretudo, à gravitação, as poeiras de partículas vão se reunir, e vão se concentrar cada vez mais até chegar um momento em que, com o aumento do calor, se produzirá uma temperatura de explosão ou se dará a iluminação das estrelas, e estas próprias estrelas se auto-organizarão entre implosão e explosão.

Além disso, podemos supor que no interior dessas estrelas vão, às vezes, se unir, em condições extremamente desordenadas, três núcleos de hélio, os quais vão constituir o átomo de carbono. Nos sóis que se sucederam, havia bastante carbono para que, finalmente sobre um pequeno planeta excêntrico, a Terra, houvesse este material necessário sem o qual não haveria isto que nós chamamos vida.

Vemos como a agitação, o encontro casual são necessários para a organização do universo. Pode-se dizer que é se desintegrando que o mundo se organiza. Eis uma idéia tipicamente complexa. Em que sentido? No sentido em que devemos unir duas noções que, logicamente, parecem se excluir: ordem e desordem. Além disso, pode-se pensar que a complexidade desta idéia é ainda mais fundamental. De fato, o universo nasceu de um momento indizível, que faz nascer o tempo do não tempo, o espaço do não espaço, a matéria da não matéria. Chega-se por meios totalmente racionais a idéias trazendo nelas uma contradição fundamental.

A complexidade da relação ordem/desordem/organização surge, pois, quando se constata empiricamente que fenômenos desordenados são necessários em certas condições, em certos casos, para a produção de fenômenos organizados, os quais contribuem para o crescimento da ordem.

A ordem biológica é uma ordem mais desenvolvida que a ordem física; é uma ordem que se desen-

volveu com a vida. Ao mesmo tempo, o mundo da vida comporta e tolera muito mais desordens que o mundo da física. Dizendo de outro modo, a desordem e a ordem ampliam-se no seio de uma organização que se complexifica.

Pode-se retomar a frase célebre de Heráclito, que, sete séculos antes de Cristo, dizia de modo lapidar: “Viver de morte, morrer de vida”. Hoje, sabemos que esse não é um paradoxo fútil. Nossos organismos só vivem por seu trabalho incessante durante o qual se degradam as moléculas de nossas células. Não só as moléculas de nossas células se degradam, mas nossas próprias células morrem. Sem parar, durante nossa vida, várias vezes nossas células são renovadas, com exceção das do cérebro e de algumas células hepáticas provavelmente.

De todo modo, viver é, sem cessar, morrer e se rejuvenescer. Ou seja, vivemos da morte de nossas células, como uma sociedade vive da morte de seus indivíduos, o que lhe permite rejuvenescer.

Mas à força de rejuvenescer, envelhecemos e o processo de rejuvenescimento desanda, se desequilibra e, efetivamente, vive-se de morte, morre-se de vida.

Hoje a concepção física do universo nos coloca na impossibilidade de pensar isto em termos simples. A microfísica encontrou um primeiro paradoxo onde a própria noção de matéria perde sua substância, onde a noção de partícula encontra uma contradição interna. Depois ela encontrou um segundo paradoxo. Este vem do sucesso da experiência de Aspect mostrando que as partículas podem se comunicar a velocidades infinitas. Ou seja, em nosso universo submetido ao tempo e ao espaço, há alguma coisa que parece escapar ao tempo e ao espaço.

Há uma tal complexidade no universo que apareceu uma série tão grande de contradições que certos cientistas acreditam ultrapassar esta contradição, no que se pode chamar de uma nova metafísica. Estes novos metafísicos buscam nos místicos, sobretudo extremo-orientais, e em particular budistas, a experiência do vazio que é tudo e do tudo que não é nada. Eles percebem aí uma espécie de unidade fundamental, onde tudo está ligado, tudo é harmonia, de todo modo, e eles têm uma visão reconciliada, eu diria eufórica, do mundo.

Assim fazendo, eles escapam, do meu ponto de vista, da complexidade. Por quê? Porque a complexidade encontra-se onde não se pode superar uma contradição, até mesmo uma tragédia. Sob certos aspectos, a física atual descobre que alguma coisa escapa ao tempo e ao espaço, mas isto não anula o fato de que ao mesmo tempo estejamos incontestavelmente no tempo e no espaço.

Não podemos reconciliar estas duas idéias. Devemos aceitá-las tais quais? A aceitação da complexidade é a aceitação de uma contradição, e a idéia de que não se pode escamotear as contradições numa visão eufórica do mundo.

Claro, nosso mundo comporta harmonia, mas esta harmonia está ligada à desarmonia. E exatamente o que dizia Heráclito: há a harmonia na desarmonia, e vice-versa.

Auto-organização

É difícil conceber a complexidade do real. Assim, os físicos abandonam felizmente o antigo material ingênuo, o da matéria como substância dotada de todas as virtudes produtivas já que esta matéria substancial desapareceu. Então, eles substituem a matéria pelo espírito. Mas o espiritualismo generalizado não vale, em nada, mais do que o materialismo generalizado. Eles se reencontram numa visão unificadora e simplificadora do universo.

Eu falei da física, mas se poderia falar também da biologia. A biologia chegou hoje, na minha opinião, às portas da complexidade ao não dissolver o individual no geral.

Pensava-se que só há ciência geral. Hoje não apenas a física nos põe num cosmos singular, mas as ciências biológicas nos dizem que a espécie não é um quadro geral no qual nascem indivíduos singulares, a espécie é ela própria um *padrão* singular muito preciso, um produtor de singularidades. Além disso, os indivíduos de uma mesma espécie são muito diferentes uns dos outros.

Mas deve-se compreender que há alguma coisa além da singularidade ou que a diferença de um

indivíduo a um outro está no fato de que cada indivíduo é um sujeito.

A palavra sujeito é uma das palavras mais difíceis, mais mal entendidas que possam existir. Por quê? Porque na visão tradicional da ciência, onde tudo é determinismo, não há sujeito, não há consciência, não há autonomia.

Se concebemos não um estrito determinismo mas um universo onde isto que se cria, se cria não apenas no acaso e na desordem, mas em processos auto-organizadores, isto é, onde cada sistema cria suas próprias determinações e suas próprias finalidades, podemos compreender primeiro, no mínimo, a autonomia, depois podemos começar a compreender o que quer dizer ser sujeito.

Ser sujeito não quer dizer ser consciente: também não quer dizer ter afetividade, sentimentos, ainda que evidentemente a subjetividade humana se desenvolva com a afetividade, com sentimentos. Ser sujeito é colocar-se no centro de seu próprio mundo, é ocupar o lugar do “eu”. E evidente que cada um dentre nós pode dizer “eu”; todo mundo pode dizer “eu”, mas cada um só pode dizer “eu” para si próprio, ninguém pode dizê-lo pelo outro, mesmo que ele tenha um irmão gêmeo, homozigoto, que se pareça exatamente com ele, cada um dirá “eu” por si próprio e não por seu gêmeo.

O fato de poder dizer “eu”, de ser sujeito, significa ocupar um lugar, uma posição onde a gente se põe no centro de seu mundo para poder lidar com ele e lidar consigo mesmo. É o que se pode chamar de egocentrismo. Claro, a complexidade individual é tal que quando nos colocamos no centro de nosso mundo, nós ali colocamos também os nossos: isto é, nossos pais, nossos filhos, nossos concidadãos, somos mesmo capazes de sacrificar nossas vidas pelos nossos. Nosso egocentrismo pode se encontrar englobado numa subjetividade comunitária mais ampla; a concepção do sujeito deve ser complexa.

Ser sujeito é ser autônomo, sendo ao mesmo tempo dependente. É ser alguém provisório, vacilante, incerto, é ser quase tudo para si e quase nada para o universo.

Autonomia

A noção de autonomia humana é complexa já que ela depende de condições culturais e sociais. Para sermos nós mesmos precisamos aprender uma linguagem, uma cultura, um saber, e é preciso que esta própria cultura seja bastante variada para que possamos escolher no estoque das idéias existentes e refletir de maneira autônoma. Portanto, esta autonomia se alimenta de dependência; nós dependemos de uma educação, de uma linguagem, de uma cultura, de uma sociedade, dependemos claro de um cérebro, ele mesmo produto de um programa genético, e dependemos também de nossos genes.

Dependemos de nossos genes e, de uma certa maneira, somos possuídos por nossos genes, já que estes não cessam de ditar a nosso organismo o meio de continuar a viver. Reciprocamente, possuímos os genes que nos possuem, isto é, graças a estes genes somos capazes de ter um cérebro, de ter uma mente, de poder assumir numa cultura os elementos que nos interessam e desenvolver nossas próprias idéias.

Aí também é preciso voltar à literatura, a esses romances que (como *Os possuídos* justamente) nos mostram a que ponto podemos ser autônomos e possuídos.

The Origine of Consciousness (A origem da consciência*), é um livro talvez contestável, mas interessante pela seguinte idéia: nas civilizações antigas, os indivíduos tinham duas câmaras não comunicantes em sua mente. Uma câmara era ocupada pelo poder: o rei, a teocracia, os deuses; a outra câmara era ocupada pela vida cotidiana do indivíduo: suas preocupações pessoais, particulares. Depois, num dado momento, na cidade grega antiga, houve a ruptura do muro que separava as duas câmaras. A origem da consciência vem desta comunicação.

Ainda hoje conservamos duas câmaras em nós. Nós continuamos numa parte de nós mesmos pelo menos a ser possuídos. Com muita freqüência, ignoramos que somos possuídos.

É o caso, por exemplo, da experiência muito chocante em que se submete um sujeito a uma dupla sugestão hipnótica. Diz-se a ele: “A partir de amanhã, você vai parar de fumar”, sendo que o sujeito é um fumante e que não pediu para parar de fumar. E acrescenta-se: “Amanhã você tomará tal itinerário

* J. Jaynes, *The Origine of Consciousness in the Breakdown of bicameral Mind*. Boston, Houghton Mifflin, 1976.

para chegar a seu trabalho”, itinerário completamente inabitual para ele. Depois faz-se apagar de sua memória estas injunções. No dia seguinte de manhã, ele acorda e se diz: “Ora, eu vou deixar de fumar. Com efeito, é melhor, porque se respira melhor, evita-se o câncer...”. Depois ele se diz: “Para me recomendar, vou passar por tal rua, lá há uma confeitaria, eu vou me comprar um doce”. E evidentemente o trajeto que lhe foi ditado.

O que nos interessa aqui, é que ele tem a impressão de ter livremente decidido deixar de fumar, e de ter racionalmente decidido passar na rua onde não tinha nenhuma razão para ir. Com que frequência temos a impressão de ser livres sem o sermos. Mas, ao mesmo tempo, somos capazes de liberdade, como somos capazes de examinar hipóteses de conduta, de fazer escolhas, de tomar decisões. Somos uma mistura de autonomia, de liberdade, de heteronomia e, eu diria mesmo, de possessão por forças ocultas que não são simplesmente as do inconsciente trazidas à luz pela psicanálise. Eis uma das complexidades propriamente humanas.

Complexidade e completude

Inicialmente a complexidade surge como uma espécie de furo, de confusão, de dificuldade. Há, claro, várias espécies de complexidade. Eu digo *a* complexidade por comodidade. Mas há complexidades ligadas à desordem, outras complexidades que são, sobretudo, ligadas a contradições lógicas.

Pode-se dizer que o que é complexo diz respeito, por um lado, ao mundo empírico, à incerteza, à incapacidade de ter certeza de tudo, de formular uma lei, de conceber uma ordem absoluta. Por outro lado diz respeito a alguma coisa de lógico, isto é, à incapacidade de evitar contradições.

Na visão clássica, quando surge uma contradição num raciocínio, é um sinal de erro. É preciso dar marcha a ré e tomar um outro raciocínio. Ora, na visão complexa, quando se chega por vias empírico-rationais a contradições, isto não significa um erro, mas o atingir de uma camada profunda da realidade que, justamente por ser profunda, não encontra tradução em nossa lógica.

Desse modo, a complexidade é diferente da completude. Imagina-se com frequência que os defensores da complexidade pretendem ter visões completas das coisas. Por que pensariam assim? Porque é verdade que pensamos que não se podem isolar os objetos uns dos outros. No fim das contas, tudo é solidário. Se você tem o senso da complexidade, você tem o senso da solidariedade. Além disso, você tem o senso do caráter multidimensional de toda realidade.

A visão não complexa das ciências humanas, das ciências sociais, considera que há uma realidade econômica de um lado, uma realidade psicológica de outro, uma realidade demográfica de outro, etc. Acredita-se que estas categorias criadas pelas universidades sejam realidades, mas esquece-se que no econômico, por exemplo, há as necessidades e os desejos humanos. Atrás do dinheiro, há todo um mundo de paixões, há a psicologia humana.

Mesmo nos fenômenos econômicos *stricto sensu*, atuam os fenômenos de multidão, os fenômenos ditos de pânico, como se viu recentemente ainda em Wall Street e outros lugares. A dimensão econômica contém as outras dimensões e não se pode compreender nenhuma realidade de modo unidimensional.

A consciência da multidimensionalidade nos conduz à idéia de que toda visão unidimensional, toda visão especializada, parcelada é pobre. É preciso que ela seja ligada a outras dimensões; daí a crença de que se pode identificar a complexidade com a completude.

Num certo sentido eu diria que a aspiração à complexidade traz em si a aspiração à completude, já que se sabe que tudo é solidário e que tudo é multidimensional. Mas, num outro sentido, a consciência da complexidade nos faz compreender que jamais poderemos escapar da incerteza e que jamais poderemos ter um saber total: “A totalidade é a não verdade”.

Estamos condenados ao pensamento incerto, a um pensamento trespassado de furos, a um pensamento que não tem nenhum fundamento absoluto de certeza. Mas somos capazes de pensar nestas condições dramáticas. Do mesmo modo, não se deve confundir complexidade e complicação. A complicação, que é o emaranhamento extremo das inter-retroações, é um aspecto, um dos elementos da complexidade. Se, por exemplo, uma bactéria já é muito mais complicada que o conjunto das usinas que

cercam Montreal, é evidente que esta própria complicação está ligada à complexidade que lhe permite tolerar em si a desordem, lutar contra seus agressores, ter a qualidade de sujeito, etc. Complexidade e complicação não são dois dados antinômicos e não se reduzem uma à outra. A complicação é um dos constituintes da complexidade.

Razão, racionalidade, racionalização

Chego às ferramentas que vão nos permitir conhecer o universo complexo. Estas ferramentas são, evidentemente, de natureza racional. Apenas, aqui também, é preciso fazer uma autocrítica complexa da noção de razão.

A razão corresponde a uma vontade de ter uma visão coerente dos fenômenos, das coisas e do universo. A razão tem um aspecto incontestavelmente lógico. Mas, aqui também, é possível distinguir entre racionalidade e racionalização.

A racionalidade é o jogo, é o diálogo incessante entre nossa mente, que cria estruturas lógicas, que as aplica ao mundo e que dialoga com este mundo real. Quando este mundo não está de acordo com nosso sistema lógico, é preciso admitir que nosso sistema lógico é insuficiente, que só encontra uma parte do real. A racionalidade, de todo modo, jamais tem a pretensão de esgotar num sistema lógico a totalidade do real, mas tem a vontade de dialogar com o que lhe resiste. Como já dizia Shakespeare: “Há mais coisas no mundo que em toda nossa filosofia”. O universo é muito mais rico do que o podem conceber as estruturas de nosso cérebro, por mais desenvolvido que ele seja.

O que é a racionalização? A palavra racionalização é empregada, muito justamente, na patologia por Freud e por muitos psiquiatras. A racionalização consiste em querer prender a realidade num sistema coerente. E tudo o que, na realidade, contradiz este sistema coerente é afastado, esquecido, posto de lado, visto como ilusão ou aparência.

Aqui nos damos conta de que racionalidade e racionalização têm exatamente a mesma fonte, mas ao se desenvolverem tornam-se inimigas uma da outra. É muito difícil saber em que momento passamos da racionalidade à racionalização; não há fronteira; não há sinal de alarme. Todos nós temos uma tendência inconsciente a afastar de nossa mente o que possa contradizê-la, em política como em filosofia. Tendemos a minimizar ou rejeitar os argumentos contrários. Exercemos uma atenção seletiva sobre o que favorece nossa idéia e uma desatenção seletiva sobre o que a desfavorece. Com freqüência a racionalização se desenvolve na própria mente dos cientistas.

A paranóia é uma forma clássica de racionalização delirante. Você vê, por exemplo, alguém que lhe olha de modo estranho e, se você tem a mente um pouco maníaca, você vai achar que está sendo seguido por um espião. Então, você olha as pessoas suspeitando de que sejam espiões, estas pessoas, vendo o seu olhar estranho, passam a olhá-lo de modo cada vez mais estranho, e você se vê, cada vez mais racionalmente, cercado cada vez de mais espiões.

Entre a paranóia, a racionalização e a racionalidade, não há fronteira clara. Devemos sem cessar prestar atenção. Os filósofos do século XVIII, em nome da razão, tinham uma visão bem pouco racional do que eram os mitos e do que era a religião. Eles acreditavam que as religiões e os deuses tivessem sido inventados pelos padres para enganar as pessoas. Eles não se davam conta da profundidade e da realidade da potência religiosa e mitológica do ser humano. Por isso mesmo, tinham se abrigado na racionalização, isto é, na explicação simplista do que sua razão não chegava a compreender. Foram precisos novos desenvolvimentos da razão para começar a compreender o mito. Para isto, foi preciso que a razão crítica se tornasse autocrítica. Devemos lutar sem cessar contra a deificação da razão que, entretanto, é nossa única ferramenta confiável, à condição de ser não só crítica mas autocrítica.

Eu sublinharia a importância disto: no início do século, os antropólogos ocidentais, como Lévy-Bruhl na França, estudavam as sociedades que supunham “primitivas”, que hoje denominamos com mais justeza “sociedades caçadoras-coletoras” que fizeram a pré-história humana, estas sociedades de algumas centenas de indivíduos que, durante dezenas de milhares de anos, constituíram de algum modo a humanidade. Lévi-Bruhl via estes ditos primitivos, com a visão de sua própria razão ocidental-cêntrica

da época, como seres infantis e irracionais.

Ele não se colocava a questão que se colocou Wittgenstein quando se perguntava, lendo o *Ramo de ouro* de Frazer: “Como pode ser que todos esses selvagens que passam seu tempo a fazer ritos de feitiçaria, ritos propiciatórios, bruxarias, desenhos, etc., não se esqueçam de fazer flechas reais com arcos reais, com estratégias reais?*”. Efetivamente, estas sociedades ditas primitivas têm uma racionalidade muito grande, difusa efetivamente em todas as suas práticas, em seu conhecimento do mundo, difusa e misturada com alguma outra coisa que é a magia, a religião, a crença nos espíritos, etc. Nós mesmos, que vivemos com certos setores de racionalidade desenvolvidos, como a filosofia ou a ciência, também vivemos embebidos de mitos, embebidos de magia, mas de um outro tipo, de uma outra espécie. Portanto, temos necessidade de uma racionalidade autocrítica, de uma racionalidade que exerça um comércio incessante com o mundo empírico, único corretivo ao delírio lógico.

O homem tem dois tipos de delírio. Um evidentemente é muito visível, é o da incoerência absoluta, das onomatopéias, das palavras pronunciadas ao acaso. O outro, bem menos visível, é o delírio da coerência absoluta. Contra este segundo delírio, o recurso é a racionalidade autocrítica e o apelo à experiência.

A filosofia jamais teria podido conceber esta formidável complexidade do universo atual, tal como nós temos podido observar com os quanta, os quasars, os buracos negros, com sua origem incrível e seu devir incerto. Jamais algum pensador teria podido imaginar que uma bactéria fosse um ser de uma complexidade tão extrema. Tem-se necessidade do diálogo permanente com a descoberta. A virtude da ciência que a impede de mergulhar no delírio é que sem cessar dados novos chegam e a levam a modificar suas visões e suas idéias.

Necessidade dos macroconceitos

Quero concluir com alguns princípios que podem nos ajudar a pensar a complexidade do real.

Primeiro, creio que temos necessidade de macroconceitos. Assim como um átomo é uma constelação de partículas, o sistema solar uma constelação em volta de um astro, do mesmo modo temos necessidade de pensar por constelação e solidariedade de conceitos.

Além disso, devemos saber que, nas coisas mais importantes, os conceitos não se definem jamais por suas fronteiras, mas a partir de seu núcleo. É uma idéia anticartesiana, no sentido em que Descartes pensava que a distinção e a clareza eram caracteres intrínsecos da verdade de uma idéia.

Tomemos o amor e a amizade. Pode-se reconhecer claramente em seu núcleo o amor e a amizade, mas há também a amizade amorosa, amores amigáveis. Há, pois, intermediários, mistos entre o amor e a amizade; não há uma fronteira clara. Não se deve jamais procurar definir por fronteiras as coisas importantes. As fronteiras são sempre fluidas, são sempre interferentes. Deve-se pois buscar definir o centro, e esta definição pede em geral macroconceitos.

Três princípios

Eu diria, enfim, que há três princípios que podem nos ajudar a pensar a complexidade. O primeiro é o princípio que denomino dialógico. Tomemos o exemplo da organização viva. Ela nasce, sem dúvida, do encontro entre dois tipos de entidades químico-físicas, um tipo estável que pode se reproduzir e cuja estabilidade pode trazer em si uma memória tornando-se hereditária: o DNA, e de outro lado, aminoácidos, que formam proteínas de múltiplas formas, extremamente instáveis, que se degradam, mas se reconstituem sem cessar a partir de mensagens que emanam do DNA. Dito de outro modo, há duas lógicas: uma, a de uma proteína instável, que vive em contato com o meio, que permite a existência fenomênica, e outra que assegura a reprodução. Estes dois princípios não são simplesmente justapostos, eles são necessários um ao outro. O processo sexual produz indivíduos, os quais produzem o processo sexual. Os dois princípios, o da reprodução transindividual e o da existência individual *hic et nonc*, são complementares mas também antagônicas. As vezes, nos espantamos de ver mamíferos comerem seus

* L. Wittgenstein, “Observações sobre o *Ramo de ouro* de Frazer”, *Atas da pesquisa em ciências sociais*, 16, setembro 1977, p.35-42.

filhotes e sacrificarem sua progenitura para sua própria sobrevivência. Nós mesmos podemos nos opor violentamente a nossa família e dar preferência a nosso interesse frente ao de nossos filhos ou nossos pais. Há uma dialógica entre estes dois princípios.

O que digo a respeito da ordem e da desordem pode ser concebido em termos dialógicos. A ordem e a desordem são dois inimigos: um suprime o outro, mas ao mesmo tempo, em certos casos, eles colaboram e produzem organização e complexidade. O princípio dialógico nos permite manter a dualidade no seio da unidade. Ele associa dois termos ao mesmo tempo complementares e antagônicos.

O segundo princípio é o da recursão organizacional. Para o significado deste termo, lembro o processo do turbilhão. Cada momento do turbilhão é, ao mesmo tempo, produto e produtor. Um processo recursivo é um processo onde os produtos e os efeitos são ao mesmo tempo causas e produtores do que os produz. Temos o exemplo do indivíduo, da espécie e da reprodução. Nós, indivíduos, somos os produtores de um processo de reprodução que é anterior a nós. Mas uma vez que somos produtos, nos tornamos os produtores do processo que vai continuar. Esta idéia é válida também sociologicamente. A sociedade é produzida pelas interações entre indivíduos, mas a sociedade, uma vez produzida, retroage sobre os indivíduos e os produz. Se não houvesse a sociedade e sua cultura, uma linguagem, um saber adquirido, não seríamos indivíduos humanos. Ou seja, os indivíduos produzem a sociedade que produz os indivíduos. Somos ao mesmo tempo produtos e produtores. A idéia recursiva é, pois, uma idéia em ruptura com a idéia linear de causa/efeito, de produto/produtor, de estrutura/superestrutura, já que tudo o que é produzido volta-se sobre o que o produz num ciclo ele mesmo autoconstitutivo, auto-organizador e autoprodutor.

O terceiro princípio é o princípio hologramático. Num holograma físico, o menor ponto da imagem do holograma contém a quase totalidade da informação do objeto representado. Não apenas a parte está no todo, mas o todo está na parte. O princípio hologramático está presente no mundo biológico e no mundo sociológico. No mundo biológico, cada célula de nosso organismo contém a totalidade da informação genética deste organismo. A idéia pois do holograma vai além do reducionismo que só vê as partes e do holismo que só vê o todo. E um pouco a idéia formulada por Pascal:

“Não posso conceber o todo sem as partes e não posso conceber as partes sem o todo”. Esta idéia aparentemente paradoxal imobiliza o espírito linear. Mas, na lógica recursiva, sabe-se muito bem que o adquirido no conhecimento das partes volta-se sobre o todo. O que se aprende sobre as qualidades emergentes do todo, tudo que não existe sem organização, volta-se sobre as partes. Então pode-se enriquecer o conhecimento das partes pelo todo e do todo pelas partes, num mesmo movimento produtor de conhecimentos.

Portanto, a própria idéia hologramática está ligada à idéia recursiva, que está ligada, em parte, à idéia dialógica.

O todo está na parte que está no todo

A relação antropossocial é complexa, porque o todo está na parte, que está no todo. Desde a infância, a sociedade, enquanto todo, entra em nós, inicialmente, através das primeiras interdições e das primeiras injunções familiares: de higiene, de sujeira, de polidez e depois as injunções da escola, da língua, da cultura.

O princípio “a ninguém é permitido ignorar a lei” impõe a presença forte do todo social sobre cada indivíduo, mesmo se a divisão do trabalho e a fragmentação de nossas vidas fazem com que ninguém possua a totalidade do saber social.

Daí o problema do sociólogo que reflete um pouco sobre seu estatuto. Ele precisa abandonar o ponto de vista divino, o ponto de vista de uma espécie de trono superior de onde contempla a sociedade. O sociólogo é uma parte desta sociedade. O fato de ser detentor de uma cultura sociológica não o coloca no centro da sociedade. Ao contrário, ele faz parte de uma cultura periférica na universidade e nas ciências. O sociólogo é tributário de uma cultura particular. Não só ele é uma parte da sociedade como, além disso, sem o saber, ele é possuído por toda a sociedade que tende a deformar sua visão. Como sair

disso? Evidentemente, o sociólogo pode tentar confrontar seu ponto de vista com o de outros membros da sociedade, conhecer sociedades de um tipo diferente, imaginar talvez sociedades viáveis que ainda não existam.

A única coisa possível do ponto de vista da complexidade, e que já se revela muito importante, é ter metapontos de vista sobre nossa sociedade, exatamente como num campo de concentração onde poderíamos edificar mirantes que nos permitiriam olhar melhor nossa sociedade e nosso meio ambiente externo. Não podemos jamais atingir o metassistema, ou seja, o sistema superior que seria meta-humano e metassocial. Mesmo que pudéssemos alcançá-lo, não seria um sistema absoluto, porque a lógica de Tarski, assim como o teorema de Gödel, nos diz que nenhum sistema é capaz de se autoexplicar totalmente nem de se autodemonstrar totalmente.

Dito de outro modo, qualquer sistema de pensamento é aberto e comporta uma brecha, uma lacuna em sua própria abertura. Mas temos a possibilidade de ter metapontos de vista. O metaponto de vista só é possível se o observador-conceptor se integrar na observação e na concepção. Eis por que o pensamento da complexidade tem necessidade da integração do observador e do conceptor em sua observação e em sua concepção.

Rumo à complexidade

Pode-se diagnosticar, na história ocidental, a hegemonia de um paradigma formulado por Descartes. Descartes separou de um lado o campo do sujeito, reservado à filosofia, à meditação interior, de outro lado o campo do objeto em sua extensão, campo do conhecimento científico, da mensuração e da precisão. Descartes formulou muito bem esse princípio de disjunção, e esta disjunção reinou em nosso universo. Ela separou cada vez mais a ciência e a filosofia. Separou a cultura dita humanista, a da literatura, da poesia e das artes, da cultura científica. A primeira cultura, baseada na reflexão, não pode mais se alimentar nas fontes do saber objetivo. A segunda cultura, baseada na especialização do saber, não pode se refletir nem pensar a si própria.

O paradigma simplificador (disjunção e redução) domina nossa cultura hoje e é hoje que começa a reação contra seu domínio. Mas não é possível tirar, eu não posso tirar, não pretendo tirar

de meu bolso um paradigma complexo. Um paradigma, ao ser formulado por alguém, por Descartes, por exemplo, é, no fundo, o produto de todo um desenvolvimento cultural, histórico, civilizatório. O paradigma complexo resultará do conjunto de novas concepções, de novas visões, de novas descobertas e de novas reflexões que vão se acordar, se reunir. Estamos numa batalha incerta e não sabemos ainda quem será o vencedor. Mas pode-se dizer, desde já, que se o pensamento simplificador se baseia no domínio de dois tipos de operações lógicas: disjunção e redução, que são ambas brutais e mutiladoras, então os princípios do pensamento complexo serão necessariamente princípios de disjunção, de conjunção e de implicação.

Junte a causa e o efeito, e o efeito voltar-se-á sobre a causa, por retroação, e o produto será também produtor. Você vai distinguir estas noções e juntá-las ao mesmo tempo. Você vai juntar o Uno e o Múltiplo, você vai uni-los, mas o Uno não se dissolverá no Múltiplo e o Múltiplo fará ainda assim parte do Uno. O princípio da complexidade, de todo modo, se fundará sobre a predominância da conjunção complexa. Mas, ainda aí, creio profundamente que se trata de uma tarefa cultural, histórica, profunda e múltipla. Pode-se ser o São João Batista do paradigma complexo e anunciar sua vinda sem se ser o Messias.

INTRODUÇÃO À COMPLEXIDADE

H. Moysés Nussenzveig

Obra: Complexidade e caos

Editora da UFRJ/COPEA - Rio de Janeiro, 1999.

Alguns dos problemas mais difíceis e fascinantes que desafiam nossa compreensão vêm sendo abordados através do que se propõe como uma nova disciplina: a teoria dos sistemas complexos. Entre eles se incluem a origem da vida, a evolução das espécies, o funcionamento do sistema imunológico e do sistema nervoso central.

Teriam esses problemas características comuns, além da dificuldade de tratá-los? Existiriam leis universais da complexidade?

Nos Estados Unidos, o Instituto de Santa Fé, criado em 1984, congrega destacados cientistas de inúmeras especialidades para discutir essas questões. Foi esse também o objetivo da série de conferências reproduzidas neste livro.

É muito cedo ainda para responder com segurança às questões acima. Há tendências a exagerar o mérito e o grau de generalidade dos resultados já obtidos, mas não há dúvida de que representam uma visão conceitual nova e interessante, que vale a pena desenvolver.

Um tratamento analítico dos sistemas complexos dentro da teoria geral de sistemas dinâmicos ainda constitui um desafio para os matemáticos. Na ausência dele, faz-se uso generalizado das simulações em computador. A facilidade de acesso a técnicas computacionais cada vez mais poderosas tem sido um dos principais fatores de estímulo às pesquisas em complexidade. Aos *in vivo* e *in vitro* dos experimentos em biologia, já se acrescentou o *in silico*.

Nesta introdução, será dada uma antevisão panorâmica dos principais tópicos tratados. A primeira pergunta que surge é como caracterizar o que entendemos por sistema complexo - conforme veremos, interessam-nos principalmente os sistemas chamados de *adaptativos*. Trataremos de abstrair as mais importantes características comuns desses sistemas a partir da análise de alguns exemplos.

O CÉREBRO

O cérebro é provavelmente o sistema mais complexo conhecido. O papel central nele é desempenhado por uma rede de neurônios (células nervosas) interligados. A estrutura de cada neurônio e da rede está discutida no capítulo "Redes neurais" deste volume. A sinalização, sob a forma de pulsos elétricos, propaga-se pelos 'fios' da rede (dendritos dos neurônios) e é transmitida de um neurônio a outros, ao longo de seu axônio e através de conexões chamadas de sinapses. Um corte do bulbo olfativo cerebral ilustra a arquitetura da rede (Figura 1).

Dependendo de um balanço dos sinais que recebe, um neurônio pode ou não disparar, ou seja, emitir um pulso; os sinais podem excitar ou inibir a emissão. A superposição de todos esses sinais constitui a atividade cerebral, que reflete e ao mesmo tempo comanda a interação com o meio ambiente, nele incluído o resto do organismo.

Características do cérebro encontradas em maior ou menor grau em outros sistemas complexos incluem as seguintes:

1. É um *sistema dinâmico* em evolução constante, formado de um *grande número de unidades*. No cérebro, há da ordem de uma centena de bilhões de neurônios.



Fig. 1 - Bulbo olfativo cerebral

2. Cada unidade *interage* com um certo número, *bem menor*, de outras (um neurônio cerebral está ligado, em média, a milhares ou dezenas de milhares de outros). O sistema é *aberto*, interagindo com o meio ambiente.

3. Cada unidade produz uma *resposta* aos sinais que recebe das outras: o neurônio dispara ou não. Essa resposta não guarda uma simples relação de proporcionalidade ao estímulo recebido: o sistema é *não-linear*. O estímulo recebido também pode ser excitatório ou inibitório.

4. *Frustração*: levando em conta que os sinais recebidos de unidades diferentes podem ser contraditórios (disparar; não disparar), não dá para satisfazer a todos ao mesmo tempo. A resposta frustrará em geral algumas das entradas.

5. *Aprendizado*: o sistema é *adaptativo* - em sua evolução constante, o cérebro muda as características das interconexões (por exemplo, o seu número e intensidade), em função da experiência adquirida pela interação com o ambiente (*memória*). Esta é, de longe, a mais importante característica dos sistemas complexos que nos interessam, também chamados de *sistemas complexos adaptativos* (ver o capítulo “Sistemas complexos adaptativos e algoritmos genéticos”). E também aquela que torna mais difícil o tratamento matemático: a própria arquitetura básica do sistema vai mudando, à medida que ele evolui e interage com o ambiente.

6. *Aleatoriedade*: algumas características do sistema são distribuídas ao acaso. Assim, no caso do cérebro, as interconexões iniciais entre neurônios, no embrião, teriam um caráter parcialmente caótico, que depois será corrigido pela interação com o ambiente, eliminando conexões erradas ou redundantes (ver o capítulo “A fabricação do cérebro”).

7. *Ordem emergente*: o sistema se *auto-organiza* de forma espontânea, criando ordem a partir de um estado desordenado, como exemplificado no item anterior - que também ilustra o caráter adaptativo.

8. O sistema é *hierárquico*: por exemplo, um sinal luminoso que excita a retina é tratado em diversos níveis diferentes antes de atingir a sede cerebral da sensação visual (Figura 1).

9. *Atratores múltiplos*: um ‘atrator’ de um sistema dinâmico é uma situação para a qual muitos de seus possíveis estados iniciais tendem, após um tempo suficientemente longo (ver o capítulo “Sistemas caóticos e sistemas complexos”).

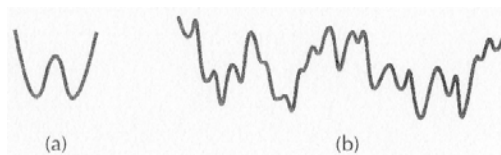


FIGURA 2 - (a) Poço duplo (b) Paisagem típica de atratores múltiplos

Assim, para um pedregulho situado numa encosta, um eventual atrator poderia ser uma posição de equilíbrio estável no fundo de um vale, para onde acabaria rolando sob os efeitos da erosão. Havendo dois poços (Figura 2a), ambos seriam atratores possíveis: qual deles seria atingido dependeria da história anterior. A Figura 2b ilustra uma ‘paisagem’ de atratores múltiplos.

Situações análogas à da Figura 2b são típicas para sistemas complexos: o sistema pode evoluir passando por um grande número de estados diferentes de ‘quase-equilíbrio’. Na física, esse fenômeno foi encontrado em materiais chamados ‘vidros de spin’.

No caso do cérebro, poderíamos exemplificar tais estados por memórias de longo prazo nele armazenadas (ver o capítulo “Mecanismos das memórias”). Pequenas perturbações podem levar o sistema de um estado a outro: o sabor de um doce mergulhado em chá evocou em Proust a memória de toda a sua infância. Isso pode ocorrer mesmo na presença de ‘ruído’, como todas as demais sensações que o afetavam naquele instante.

10. *Quebra de ergodicidade*: esse termo técnico caracteriza o fato de que o sistema, numa paisagem (Figura 2b), pode ficar encalhado por muito tempo em alguns dos poços, deixando de visitar todos ou quase todos os estados possíveis. Seu comportamento mostra ‘histerese’ (dependência da

história anterior).

11. Miríades de interações locais entre as unidades que formam o sistema, passando por diferentes configurações, através de efeitos de competição e cooperação, acabam conduzindo a *propriedades coletivas emergentes*, qualitativamente novas, do sistema como um todo.

É o que o físico Philip Anderson caracterizou como “mais é diferente”. No exemplo do cérebro, uma propriedade coletiva emergente seria a memória.

Podemos comparar esse efeito ao que ocorre nas transições de fase, mudanças do estado de um sistema do tipo das transições gelo → água → vapor, também chamadas de *fenômenos críticos*. Nelas igualmente novas propriedades coletivas emergem a partir de interações locais entre as moléculas. Entretanto, o estado crítico é atingido quando se sintoniza um parâmetro de controle externo, como a temperatura ou a pressão, ao passo que nos sistemas complexos ele é atingido pela evolução espontânea do próprio sistema: é a *criticalidade auto-organizada*, que discutiremos mais adiante.

12. *Estrutura fractal*: Em muitos sistemas complexos, aparecem estruturas geométricas *fractais*, ou seja, de dimensão fracionária (ver o capítulo “Fractais”). Um exemplo de fractal são os ‘dedos viscosos’ (Figura 3), que se formam, por exemplo, ao injetar água em alta pressão num fluido viscoso.

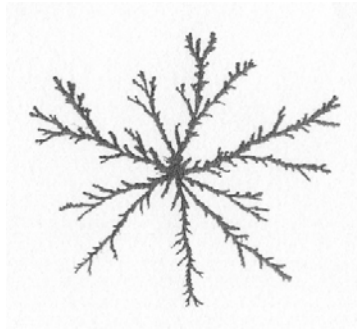


FIGURA 3 - Dedos viscosos

Idealmente, essa estrutura tem auto-similaridade em todas as escalas, ou seja, se ampliarmos uma das ramificações da figura, veremos que ela, por sua vez, se ramifica em escalas cada vez mais finas. Isso faz com que ocupe uma fração maior do espaço do que uma curva usual (de dimensão 1), embora menor do que uma área (dimensão 2).

A semelhança entre os dedos viscosos, cuja dimensão fractal é 1,7, e a estrutura dendrítica da rede de neurônios da Figura 1 é flagrante. De fato, no gânglio da retina, a dimensão fractal estimada é também 1,7. A vantagem dessa estrutura é que ela permite aos dendritos uma melhor amostragem da rede de axônios.

FLUTUAÇÕES E LEIS DE POTÊNCIAS

Terremotos são um exemplo de fenômenos naturais cuja ocorrência é notoriamente imprevisível, envolvendo atividade vulcânica e deslizamentos da crosta terrestre. A medida de quão catastrófico é um terremoto se faz em termos da energia total liberada por ele, usando uma escala logarítmica, que é a Escala Richter. Felizmente, grandes terremotos, com valores elevados nessa escala, são extremamente raros, ao passo que pequenos tremores, sequer sentidos por nós mas registrados por sismógrafos, são muito frequentes.

Um gráfico da frequência anual de terremotos (em escala logarítmica) numa dada região, em função de sua magnitude (Figura 4), ajusta-se bem a uma reta: esta é a *Lei de Gutenberg e Richter*. Se E é a energia liberada, isso implica que o número anual é proporcional a uma potência inversa de E , ou seja, E^{-b} , onde $b \approx 1,5$ nesse caso.

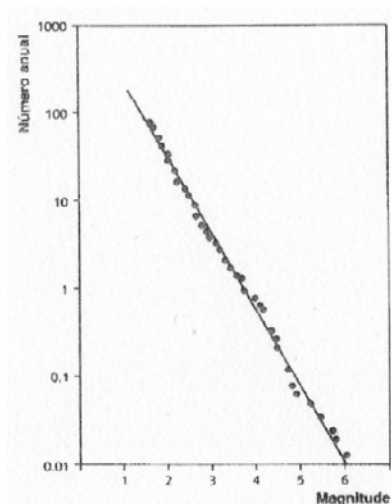


FIGURA 4 - Lei de Gutenberg e Richter

Uma *lei de potências* como essa é *independente de escala*: não define nenhuma escala típica dos terremotos. Todas as intensidades são possíveis, apenas tornando-se tanto mais raras quanto mais elevada for a escala. Note-se que a potência inversa é fracionária, como uma dimensão fractal.

A mesma invariância de escala é encontrada no *ponto crítico* de transições de fase. Assim, na temperatura crítica da transição vapor/líquido, há flutuações de densidade de todas as magnitudes, que podem ser pensadas como formação e dissociação de gotas do líquido. As correlações entre essas flutuações decrescem lentamente com a distância, também segundo uma lei de potências inversas de expoente fracionário. Vimos que fractais também se caracterizam pela invariância de escala.

Já vimos que, para atingir o ponto crítico em transições de fase, é preciso sintonizar com precisão parâmetros externos. Por outro lado, se considerarmos a Lei de Gutenberg e Richter como evidência de que a crosta terrestre atingiu um estado crítico, isso teria ocorrido espontaneamente, ao longo das eras geológicas. Esse seria assim um exemplo de *criticalidade auto-organizada*, conceito que discutiremos a seguir.

CRITICALIDADE AUTO-ORGANIZADA

Um modelo que tem servido de paradigma para esse conceito é o de uma pilha de areia. Imagine-mos uma plataforma horizontal sobre a qual se despeja areia de forma lenta e gradual - no limite, grão a grão. Vai-se formando aos poucos um montículo, cujas paredes laterais vão aumentando de inclinação. Quando a inclinação num local é excessiva, a areia escorre e pode produzir uma avalanche. Quanto mais areia é despejada, maior a inclinação e o tamanho médio das avalanches.

Finalmente, a pilha pára de crescer quando há um equilíbrio dinâmico entre a areia despejada continuamente e aquela que sai pelas avalanches. Nesse *estado crítico*, cada grão de areia despejado interage só com alguns vizinhos, mas pode suscitar uma reação em cadeia, produzindo uma avalanche de qualquer tamanho (medido pelo número de grãos de areia).

No estado crítico, a distribuição estatística do tamanho das avalanches, que dá a frequência relativa de ocorrência em função do tamanho, segue uma lei de potência inversa, associada a um expoente crítico fractal: avalanches são tanto mais raras quanto maiores, mas todos os tamanhos podem ocorrer. A configuração *local* da areia muda constantemente, mas o estado crítico, que é uma propriedade *global (emergente)* da pilha, é robusto: a distribuição estatística se mantém constante.

Uma pilha de areia com esse comportamento atingiu a *criticalidade auto-organizada*. Quando Bak, Tang e Wisenfeld introduziram esse conceito em 1987, valeram-se de simulações em computador de um modelo ultra-simplificado da pilha de areia.

Uma pilha de areia real é bem mais complicada do que esse modelo: é estudada na física de materiais granulares, em que efeitos de inércia, atrito, adesão e forma dos grãos desempenham papéis impor-

tantes. Além disso, experimentos de laboratório são difíceis, porque é preciso dispor de muito espaço e esperar muito tempo para observar avalanches que cubram uma ampla gama de escalas de tamanho (ver o capítulo “Criticalidade auto-organizada”).

Entretanto, experimentos com pilhas de grãos de arroz, realizados em 1995, confirmaram a existência de criticalidade auto-organizada nesse sistema. Efeitos naturais - em que se observam leis de potência inversa - incluem a distribuição do tamanho das enchentes do rio Nilo e as flutuações da luz emitida por quasares. Em ambos os casos, existem registros que cobrem períodos de muitos anos.

As flutuações no comportamento temporal de um sistema desse tipo correspondem a uma superposição de sinais de todas as escalas de tamanho e duração possíveis, dando origem ao chamado *ruído bruxuleante*. Tal nome vem da analogia com a chama de uma vela que bruxuleia, oscilando entre uma chama fraca e clarões súbitos, análogos às avalanches. Esse tipo de ruído é encontrado em inúmeros fenômenos naturais.

SISTEMAS NÃO-LINEARES, ORDEM E CAOS

Progressos importantes na compreensão de sistemas não-lineares foram obtidos nos últimos anos. Um dos principais foi a percepção de que *existe caos na ordem e existe ordem no caos*.

Que a ordem pode levar ao caos já havia sido antecipado por Poincaré, mas isto foi redescoberto pela análise da incerteza nas previsões meteorológicas e por simulações *in silico* (ver o capítulo “Sistemas caóticos e sistemas complexos”). Leis determinísticas, como as leis de movimento da mecânica clássica, que se costumava relacionar a fenômenos ordenados e regulares, podem levar à imprevisibilidade a longo prazo associada ao caos. Aliás, isso constitui a regra, não a exceção.

Um fator que contribui para a imprevisibilidade é a *sensibilidade a condições iniciais*. Um desvio muito pequeno dessas condições é amplificado exponencialmente pela evolução do sistema, produzindo um resultado muito diferente. E o que tende a acontecer na previsão do tempo a longo prazo.

A existência de ordem dentro do caos é exemplificada pela grande mancha vermelha de Júpiter - uma estrutura coerente gigantesca, que sobrevive na atmosfera de forte turbulência do planeta há no mínimo três séculos. Dentro de uma estrutura caótica, sobrevivem em muitos casos vestígios de ordem, relacionados com evoluções regulares, mas instáveis (ver o capítulo “Caos em sistemas dissipativos e hamiltonianos”). É possível utilizar esses remanescentes de ordem para controlar o caos, empregando-os para efetuar uma passagem rápida de uma dada situação para outra muito distante dela.

Um sistema complexo adaptativo parece representar uma situação intermediária entre a ordem e o caos. Em lugar de desvios das condições iniciais produzirem uma incerteza nas predições que cresce segundo uma lei exponencial, o crescimento se dá segundo uma *lei de potência*, tornando o sistema bem menos imprevisível. A evolução espontânea do sistema tenderia a levá-lo a um estado crítico auto-organizado numa região de fronteira ordem/caos.

O comportamento espaço-temporal típico desses sistemas contém fortes correlações entre pontos distantes e entre o presente e a história passada (ou seja, memória, ao contrário dos sistemas chamados de markovianos). Vimos que, num estado crítico auto-organizado, qualquer perturbação pode produzir avalanches de qualquer tamanho. Essas avalanches seriam responsáveis pela introdução de correlações em todas as escalas.

Em resumo, poderíamos caracterizar da seguinte forma os três tipos de comportamento:

1. *Ordem*: a evolução é inteiramente previsível, regular como um relógio - como caso limite, um relógio parado (imutabilidade).

2. *Caos*: o sistema muda o tempo todo, mas *plus ça change, plus c'est la même chose* - a irregularidade é completa.

3. *Criticalidade auto-organizada*: um sistema complexo adaptativo nessa situação também está em evolução constante, mas, *quanto mais muda, mais se torna diferente*, como acontece com um ser vivo. Isso sugere especial relevância na biologia, conforme será discutido nas aplicações a seguir.

EVOLUÇÃO E SELEÇÃO NATURAL

O bispo William Paley formulou, num tratado de teologia do início do século passado, o ‘argumento do relojoeiro’ para a existência de Deus. Se alguém encontra um pedregulho num campo, pode supor que ele sempre esteve lá, mas se encontra um relógio, deve conceber a existência de um relojoeiro, que o fabricou para um objetivo bem determinado. Comparando então a estrutura do olho humano com a de um telescópio, conclui que, assim como o telescópio, o olho também deve ter sido projetado por um criador.

A teoria de Darwin da evolução (ver o capítulo “Evolução, sistemas complexos e caos”) baseia-se na existência de mutações ocorrendo ao acaso, mas podendo ser transmitidas por herança, e no processo da seleção natural, levando à sobrevivência dos mais aptos. Devido à herança, o processo é *cumulativo*, o que, combinado com os bilhões de anos em que atuou, levaria *gradualmente* à evolução de um órgão tão complexo quanto o olho, através de uma cadeia de mutações aleatórias, cada uma delas pequena relativamente a suas precursoras, mas selecionada por conferir vantagem evolutiva. Assim, na expressão de Richard Dawkins, a evolução funcionaria como um *relojoeiro cego*.

Em 1972, com base nos registros de fósseis, os paleontólogos Niles Eldredge e Stephen Jay Gould propuseram a hipótese do *equilíbrio pontuado*, segundo a qual a evolução não teria ocorrido apenas de forma lenta e gradual, como sugerido por Darwin, mas muitas vezes também por *saltos* intermitentes. Episódios de extinção, como a que ocorreu no período permiano, em que 96% das espécies se extinguíram, ou de explosão, como a do período cambriano, que criou uma imensa variedade de organismos, seriam exemplos extremos.

No seu tratado de 1993, *Ai origens da ordem*, Stuart Kauffman, um dos esteios do Instituto de Santa Fé, sugere que a teoria de Darwin deva ser complementada, levando-se em conta que os organismos, em sua interação uns com os outros e com o meio ambiente, formam um sistema complexo adaptativo em *coevolução*. Isso contribui para a emergência espontânea de ordem e de diferentes nichos de quase-equilíbrio, que poderiam ser identificados com as espécies.

É muito importante levar em conta a *coevolução*. Ela implica que a evolução de cada organismo modifica a “paisagem de aptidão” (no sentido da sobrevivência dos mais aptos) em que se encontram todos os outros, como no deslocamento sobre um tapete de borracha, em que cada passada deforma o suporte comum em que todos se movem.

Se admitirmos que os episódios de extinção de espécies correspondem a avalanches, podemos procurar uma relação entre a frequência com que ocorrem esses episódios e a sua magnitude, medida pelo número ou percentual de espécies extintas. Extinções em larga escala seriam muito raras, como na Lei de Gutenberg e Richter.

Usando dados de Sepkoski sobre extinções durante os últimos 600 milhões de anos, obtidos a partir de registros de fósseis, Raup montou um histograma do número de gêneros (grupamentos de espécies) que sobrevivem, em função de sua vida média (período de sobrevivência em milhões de anos). Flyvbjerg, Sneppen e Bak reproduziram esses dados no diagrama log-log da Figura 5.

Os resultados são compatíveis com uma lei de potência inversa (com um expoente próximo de 2), o que sugere um estado crítico auto-organizado. Assim, a evolução das espécies levaria a uma situação na fronteira entre ordem e caos. Segundo Kauffman, isso constituiria uma vantagem seletiva: sistemas complexos nessa situação seriam os mais aptos a se adaptarem por mutações e seleção.

A razão é que, por estar na fronteira, o sistema partilha com sistemas ordenados a capacidade de adaptar-se *gradualmente* a pequenas perturbações do ambiente; por outro lado, pode responder rapidamente a mudanças bruscas e maiores, como no controle do caos, permitindo, assim, tirar vantagem

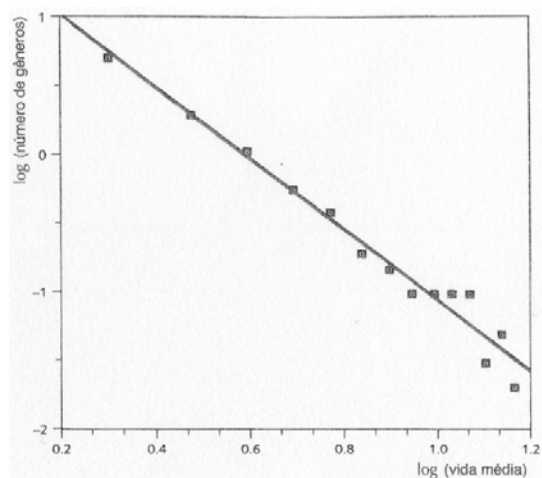


Figura 5 - Sobrevivência de gêneros biológicos

máxima da seleção natural.

Os pontos de vista do gradualismo de Darwin e do equilíbrio pontuado de Eldredge e Gould na teoria da evolução costumam ser apresentados como antagônicos, mas parece mais razoável considerá-los como complementares, representando aspectos diversos de um mecanismo comum (ver o capítulo “A universalidade de antagonismos”).

O MODELO DE BAK E SNEPPEN DA EVOLUÇÃO

Bak e Sneppen, em 1993, fizeram uma simulação em computador de uma caricatura de um processo de evolução, representando, em termos extremamente simplificados, a interação coevolucionária entre espécies e a substituição das menos aptas por outras mais aptas.

Cada espécie é representada pela sua ‘aptidão’, um número do intervalo entre 0 e 1, e esses números são distribuídos na periferia de um círculo. Assim, cada espécie tem duas vizinhas, que poderiam representar um predador e uma presa, e só interage com elas. As aptidões iniciais são sorteadas ao acaso.

Em lugar de enfatizar a sobrevivência dos mais aptos, enfatiza-se a substituição dos menos aptos. Em cada passo da simulação, que representa um intervalo de tempo, escolhe-se a espécie menos apta (o menor número). Essa espécie e suas duas vizinhas são substituídas (mutação) por novos números sorteados ao acaso no intervalo entre 0 e 1.

Repetindo o processo a cada passo, vai-se registrando a evolução com o tempo (número de passos) da aptidão de cada espécie. Examinando essa evolução para a aptidão mínima, verifica-se que ela flutua entre valores baixos e um valor máximo. O máximo tende a aumentar com o número de passos, até que é atingido um *estado crítico*, em que a quase totalidade das espécies tem aptidão superior a um limiar (que no modelo é próximo de 2/3).

A partir desse ponto, a substituição da espécie de aptidão mínima e de suas vizinhas desencadeia avalanches de mutação. Medindo a duração de cada avalanche (número total de mutações até voltar a posicionar-se acima do limiar) e fazendo um gráfico do número de avalanches em função de sua duração, resulta mais uma vez uma lei de potência inversa.

Vemos portanto que este ‘modelo de brinquedo’ da evolução tende *espontaneamente*, sem sintonizar nenhum parâmetro, a um *estado crítico auto-organizado*.

O modelo de Bak-Sneppen ilustra um dos métodos mais simples de efetuar simulações computacionais de sistemas complexos, em que, como foi inicialmente sugerido por Von Neumann e Ulam, discretizam-se o espaço e o tempo e atualiza-se o estado do sistema todo em instantes sucessivos, segundo regras fixas, que em cada sítio dependem apenas de seus vizinhos. E o que se chama de *autômato celular* (ver o capítulo “Autômatos celulares”). Outro exemplo de um tal autômato é o célebre “Jogo da vida”, um jogo de computador capaz de produzir situações bastante complexas, o qual, conforme se demonstrou, também conduz a um estado crítico.

REDES BOOLEANAS E DIFERENCIAÇÃO CELULAR

Um dos problemas mais instigantes da biologia é o mecanismo da diferenciação celular. Como, a partir de células que contêm todas a mesma mensagem genética, é estabelecida a diferenciação que determina o desenvolvimento de diferentes células especializadas (musculares, nervosas, hepáticas, etc.)? (Ver o capítulo “Evolução de sistemas biológicos integrados: multicelularidade e diferenciação celular”).

Sabe-se que isso decorre da *regulação genética*: a interação entre os genes determina quais deles serão ativados, definindo o tipo de célula formada. Um modelo computacional altamente simplificado da regulação genética foi proposto por Kauffman, empregando *redes booleanas*.

Uma rede booleana é um conjunto de N elementos, cada um dos quais é uma variável binária, ou seja, só tem dois estados, ativo ou inativo. Numa rede (N, K) , cada elemento interage com K outros; por exemplo, se $K = 2$, o estado de um elemento depende dos estados dos dois outros aos quais está ligado. A dependência é dada por uma função lógica booleana, como “E” ou “OU”. A regra pode ser, por exemplo,

que o elemento estará ativo no instante seguinte se um OU outro desses dois estiver ativo no instante atual.

Como o número total de estados da rede é finito, a evolução dinâmica a partir de um estado inicial necessariamente traz o sistema de volta a esse estado após um certo número de passos, mostrando que todos os atratores são *ciclos*, cujo comprimento depende do estado inicial. Na aplicação a sistemas complexos, N é um número muito grande e o número total de estados possíveis é imenso. Quais serão visitados depende de K e das funções booleanas escolhidas.

Kauffman estudou redes *aleatórias*, em que as funções booleanas são distribuídas ao acaso na rede. Ele verificou que, para N grande e $K = N$, o comprimento típico dos ciclos é da ordem da raiz quadrada do número total de estados possíveis: para $N = 100.000$, é da ordem de 10^{15} .000, ciclo tão grande que se torna praticamente indistinguível de um comportamento caótico, havendo sensibilidade às condições iniciais. Logo, o comportamento pode ser classificado como *caótico*.

Por outro lado, para $K = 2$, o comprimento típico de um ciclo passa a ser da ordem de \sqrt{N} , ou seja, de 317 para $N = 100.000$, visitando uma fração ínfima dos estados possíveis, e a rede tende a um comportamento *regular*.

A conclusão de Kauffman é que redes booleanas com pequeno número de interconexões para cada elemento exibem comportamento ordenado, ao passo que tendem a um comportamento caótico quando o número de interconexões é comparável ao número de elementos (no cérebro, o número de conexões de cada neurônio é uma fração ínfima do número de neurônios).

Na aplicação à regulação genética, Kauffman interpreta cada atrator como um tipo diferente de célula, e N como o número de genes. Na espécie humana, N é da ordem de 100.000, com ~ 317 , e há 256 tipos de células. A Figura 6 mostra que o número de tipos de células em diferentes organismos parece de fato crescer como \sqrt{N} , admitindo que N é proporcional à massa de DNA por célula.

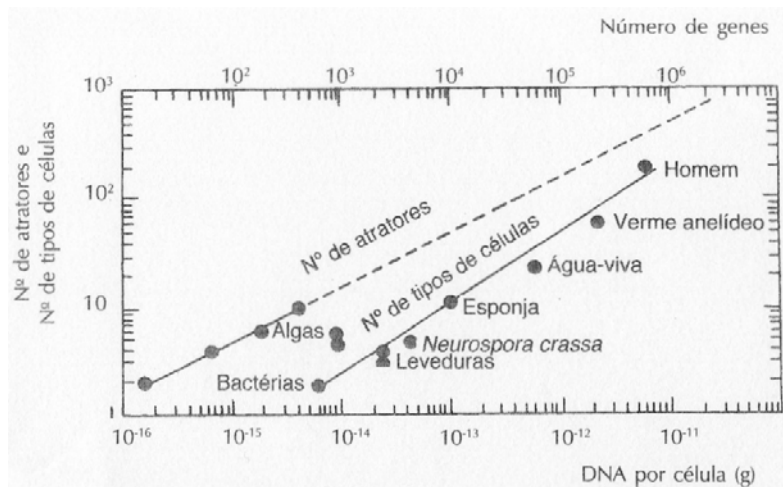


FIGURA 6 - Número de tipos de células em função do conteúdo de DNA por célula (log-log)

O problema da regulação genética também pode ter importantes aplicações na determinação do aparecimento ou não de doenças hereditárias de origem genética (ver o capítulo "A genética identificando e explicando o funcionamento de nossos genes: prós e contras").

MODELO AUTOCATALÍTICO DA ORIGEM DA VIDA

Como podemos imaginar o aparecimento da vida a partir de uma 'sopa de nutrientes?' A tendência mais aceita atualmente (ver o capítulo "Evolução molecular da vida") é a do 'mundo do RNA', em que algum polímero primitivo, análogo ao RNA, é dotado ao mesmo tempo das capacidades de replicação e de catalisar a síntese de proteínas.

Kauffman e seus colaboradores desenvolveram um modelo *autocatalítico*, em que um polímero catalisa a formação de uma cadeia de outros, que por sua vez catalisam a síntese do polímero de partida, fechando o ciclo.

Em virtude das propriedades combinatórias da química de polímeros, à medida que o comprimento máximo dos polímeros vai crescendo, o número de reações químicas de interconversão entre eles cresce mais rapidamente do que o número de polímeros. Para um conjunto suficientemente complexo de polímeros, ocorreria uma ‘transição de fase’: a propriedade coletiva emergente seria a *autocatálise*. Isso implicaria a necessidade de uma *complexidade mínima* para tornar possível o aparecimento de vida.

Outra questão estudada por Kauffman foi a do mecanismo de seleção das proteínas empregadas pelos seres vivos, dentre o número astronômico de seqüências polipeptídicas possíveis, problema análogo ao da seleção dos tipos de células discutido acima. Um mecanismo possivelmente relevante teria sido a variedade de formas geométricas das moléculas, que está relacionada com o seu enovelamento e com a função que desempenham (ver o capítulo “Complexidade e proteínas: estrutura, enovelamento, dinâmica e associação de sub-unidades protéicas”).

APLICAÇÕES À ECONOMIA

Da mesma forma que a caricatura da previsão do tempo costumava ser “bom tempo, salvo se chover”, uma caricatura do economista é “aquele que explicará amanhã por que a previsão feita ontem não deu certo hoje.” Vimos recentemente falir, nos Estados Unidos, um fundo de investimento vultoso gerido pelos Prêmios Nobel de Economia de 1997. O economista Paul Krugman, do Massachusetts Institute of Technology (MIT), diz: “Estas coisas acontecem... se os deuses estão contra você”, explicação digna de um mago da corte na era medieval.

A economia clássica baseia-se nas premissas de que o “homem econômico” age de forma racional, sempre de forma a otimizar sua “função utilidade” (retorno) e que a livre competição produz um equilíbrio estável, “o melhor dos mundos possíveis”, em que a tecnologia mais eficiente domina o mercado. A estabilidade do equilíbrio é garantida pela lei dos retornos decrescentes (retroalimentação negativa): à medida que um determinado recurso vai sendo explorado - por exemplo, numa tecnologia extrativa - seu valor vai-se depreciando, até que ele deixa de ser usado e é substituído por outro.

O economista Brian Arthur foi pioneiro na aplicação dos conceitos de sistemas complexos adaptativos à economia. Nela atua um grande número de unidades (agentes), cujas decisões estão sujeitas a fatores aleatórios e estão longe de ser sempre ‘racionais’. Existem retornos *crecientes* (retroalimentação positiva), como por exemplo no que se chama de ‘bolha especulativa’. A atual situação das bolsas, num mundo globalizado, mostra que a mera expectativa de uma crise em determinado país pode tornar-se uma profecia autocumprida, desencadeando a crise ‘prevista’, que poderíamos comparar a uma avalanche.

Existe uma multiplicidade de ‘equilíbrios’ (atratores múltiplos) e o sistema está em evolução constante, aproximando-se mais do comportamento biológico do que de um sistema mecânico. A tecnologia dominante pode depender mais do acaso do que de sua eficiência.

Uma ilustração disso são os teclados QWERTY de máquinas de escrever e de computadores, cujo nome vem da distribuição das letras na segunda fileira de caracteres. Essa distribuição foi introduzida em 1873, com a finalidade específica de dificultar a datilografia, porque as máquinas da época tendiam a enguiçar se usadas com excessiva rapidez. A produção em massa de máquinas com esse teclado acabou sacramentando a escolha.

No fim do século passado, automóveis com motores a vapor (não poluentes!) dominavam o mercado. Foram suplantados pelos motores a gasolina, em parte, porque uma epidemia levou à proibição do uso de bebedouros de cavalos, onde os carros a vapor se abasteciam.

Há inúmeros outros exemplos: a competição entre as tecnologias Betamax e VHS, vencida graças aos retornos crescentes da comodidade, tanto do consumidor como dos videoclubes, em manter um único sistema (aquele que ganhou uma vantagem inicial), ou entre o sistema operacional *plug and play* do Macintosh e o *plug and pray* do Windows.

OUTRAS APLICAÇÕES

Aplicações às ciências sociais ainda se encontram num estágio embrionário, embora a economia possa ser incluída nesse rol. A diversidade das formas e modelos de organização social estudados em antropologia também poderia ser encarada como manifestação de atratores múltiplos, sem perder de vista os riscos de generalizações apressadas.

É interessante, porém, notar que as tendências modernas em antropologia se opõem aos modelos unilineares de evolução social e ressaltam o caráter complexo e a diversidade encontrados em sociedades anteriormente classificadas como primitivas (ver o capítulo “Sociedades moderno-contemporâneas: uma perspectiva antropológica”).

COMPLEXIDADE E COMPUTAÇÃO

Em virtude da inexistência, até agora, de uma teoria matemática de sistemas dinâmicos complexos adaptativos, o principal método de pesquisa teórica sobre esses sistemas é a modelagem e simulação computacional. Podemos perguntar se é possível caracterizá-los do ponto de vista da teoria da computação.

Já discutimos diversos critérios propostos para a caracterização da complexidade; em particular, para distingui-la do caos. Dado um objeto de origem desconhecida, podemos perguntar se ele se formou por um processo aleatório ou complexo: no argumento do bispo Paley, o pedregulho exemplifica a aleatoriedade; o olho humano, a complexidade. No conto de Borges “A Biblioteca de Babel”, a biblioteca contém um exemplar de cada uma de todas as possíveis combinações de letras e símbolos tipográficos que preenchem volumes de 410 páginas, em formato uniforme. Como distinguir as obras de Shakespeare daquelas que poderiam ter resultado do esforço dos célebres macacos datilógrafos?

Na teoria da computação, existe o conceito de ‘complexidade’ de um dado resultado, medido pelo tamanho em bits do menor programa de computador capaz de gerá-lo (ver o capítulo “Complexidade em computação”), mas ela seria máxima justamente para uma seqüência aleatória, em que o comprimento do programa corresponde ao da própria seqüência a ser reproduzida, já que ela não tem nenhuma regularidade capaz de abreviá-lo. Nesse sentido, um objeto regular, como uma seqüência de dígitos idênticos, tem complexidade mínima e um objeto complexo, no sentido que nos interessa, situa-se mais uma vez entre a ordem e o caos.

Bennett propôs caracterizar um objeto computacional complexo pela sua *profundidade lógica*, que seria proporcional ao tempo necessário para digitar as instruções de um programa - tão econômico quanto possível - capaz de gerá-lo. Para uma seqüência aleatória, a instrução equivaleria a digitar ‘imprima’ e a profundidade lógica seria pequena, como também para uma seqüência regular. Grande profundidade lógica seria evidência de que o objeto teria resultado de um processo dinâmico longo e difícil de simular, características que associamos à complexidade.

A relação entre a evolução dinâmica de um sistema complexo adaptativo, o meio ambiente com o qual interage e a segunda lei da termodinâmica também está relacionada com a Teoria de Shannon da informação. Resultados profundos, como os de Turing e Gödel, parecem intervir nessa relação.

Um sistema complexo adaptativo gera ordem interna às custas de aumentar a entropia do ambiente, funcionando de certa forma como um demônio de Maxwell (ver o capítulo “Aleatoriedade algorítmica, entropia física, medições e a segunda lei”). É notável que o mecanismo básico de geração de energia em todas as células vivas, elucidado por experimentos recentes, pareça envolver um sistema análogo ao demônio de Maxwell.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Leituras introdutórias

ARTHUR, Brian W. Positive feedbacks in the economy, *Scientific American*, fev., 1990.

BAK, P. *How nature works*. Oxford: Oxford University Press, 1997.

CHEN, Kan. Self-organized criticality, *Scientific American*, jan., 1991.

GELL-MANN, M. *The quark and the jaguar*. Nova York: W. H. Freeman, 1994. HOLLAND, J. H. Genetic algorithms, *Scientific American*, jul., 1992.

Hidden order. Addison-Wesley, Reading, Mass., 1995.

KAUFFMAN, S. A. Antichaos and adaptation, *Scientific American*, ago., 1991.

At home in the universe. Oxford: Oxford University Press, 1995.

LEWIN, R. *Complexidade*. Rio de Janeiro: Rocco, 1994.

MÉZARD, M.; TOULOUSE, G. Des verres de spin aux réseaux de neurones, *La Recherche*, maio, 1991.

OLIVEIRA, P. M. de. Sistemas complexos, *Ciência Hoje*, v. 16, n. 92, p. 15, 1993. WALDROP, M. Mitchell. *Complexity*. Londres: Penguin Books, 1993.

Leituras mais avançadas

KAUFFMAN, Stuart A. *The origins of order*. Oxford: Oxford University Press, 1993.

STEIN, D. L. (org.). *Lectures in the sciences of complexity*. Addison-Wesley, Reading, Mass., 1989.

ZUREK, W. H. (org.). *Complexity, entropy and the physics of information*. Addison-Wesley, Reading, Mass., 1991.

O FIM DAS CERTEZAS. TEMPO, CAOS E AS LEIS DA NATUREZA

Ilya Prigogine
Edunesp - São Paulo, 1996

PRÓLOGO

UMA NOVA RACIONALIDADE

Segundo Karl Popper, o senso comum tende a afirmar “que *todo* evento é causado por um evento que o precede, de modo que se poderia predizer ou explicar qualquer evento ... Por outro lado, o senso comum atribui às pessoas sadias e adultas a capacidade de escolher livremente entre várias vias de ação distintas...”. * Esta tensão no interior do senso comum traduz-se no pensamento ocidental por um problema maior, que William James† chamou de “dilema do determinismo”. Este dilema tem como desafio nossa relação com o mundo e particularmente com o tempo. O futuro é dado ou está em perpétua construção? E uma ilusão a crença em nossa liberdade? E uma verdade que nos separa do mundo? A questão do tempo está na encruzilhada do problema da existência e do conhecimento. O tempo é a dimensão fundamental de nossa existência, mas está também no coração da física, pois foi a incorporação do tempo no esquema conceitual da física galileana o ponto de partida da ciência ocidental. Por certo, este ponto de partida é um triunfo do pensamento humano, mas está também na origem do problema que constitui o objeto deste livro. Sabe-se que Einstein afirmou muitas vezes que “o tempo é ilusão”. E, de fato, o tempo tal como foi incorporado nas leis fundamentais da física, da dinâmica clássica newtoniana até a relatividade e a física quântica não autoriza nenhuma distinção entre o passado e o futuro. Ainda hoje, para muitos físicos, esta é uma verdadeira profissão de fé: em termos da descrição fundamental da natureza, não há *flecha do tempo*.

E no entanto, em toda parte, na química, na geologia, na cosmologia, na biologia ou nas ciências humanas, o passado e o futuro desempenham papéis diferentes. Como poderia a flecha do tempo emergir de um mundo a que a física atribui uma simetria temporal? Este é o *paradoxo do tempo*, que transpõe para a física o “dilema do determinismo”. O paradoxo do tempo está no centro deste livro.

O paradoxo do tempo só foi identificado tardiamente, na segunda metade do século XIX, graças aos trabalhos do físico vienense Ludwig Boltzmann. Ele acreditara poder seguir o exemplo de Charles Darwin na biologia e fornecer uma descrição evolucionista dos fenômenos físicos. Sua tentativa teve como efeito pôr em evidência a contradição entre as leis da física newtoniana, baseadas na equivalência entre passado e futuro, e toda tentativa de formulação evolucionista que afirme uma distinção essencial entre futuro e passado. Na época, as leis da física newtoniana eram aceitas como a expressão de um conhecimento ideal, objetivo e completo. Já que as leis afirmavam a equivalência entre o passado e o futuro, toda tentativa de conferir uma significação fundamental à flecha do tempo aparecia como uma ameaça contra esse ideal. A situação não mudou hoje. Assim, muitos físicos consideram a mecânica quântica, no campo da microfísica, como a formulação definitiva da física, assim como os físicos da época de Boltzmann julgavam definitivas as leis da física newtoniana. Por isso, a questão permanece: como incorporar a flecha do tempo sem destruir essas construções grandiosas do espírito humano?

Desde a época de Boltzmann, a flecha do tempo foi, portanto, relegada ao domínio da fenomenologia. Nós, humanos, observadores limitados, seríamos responsáveis pela diferença entre passado e futuro. Esta tese, que reduz a flecha do tempo ao caráter aproximado de nossa descrição da natureza, ainda é defendida na maior parte dos livros recentes. Outros autores renunciam a pedir às ciências a chave do mistério insolúvel que constituiria o surgimento da flecha do tempo. Ora, desde Boltzmann, a situação mudou profundamente. O desenvolvimento espetacular da física de não equilíbrio e da dinâmica dos

* POPPER, K. *L'univers irrésolu*. Plaidoyer pour l'indéterminisme. Paris: Hermann, 1984. p.XV

† JAMES, W. “The Dilemma of Determinism”. In *The Will to Believe*. New York: Dover, 1956.

sistemas dinâmicos instáveis associados à idéia de caos força-nos a revisar a noção de tempo tal como é formulada desde Galileu.

De fato, ao longo das últimas décadas, nasceu uma nova ciência, a física dos processos de não equilíbrio. Esta ciência levou a conceitos novos, como a auto-organização e as estruturas dissipativas, que são hoje amplamente utilizados em áreas que vão da cosmologia até a ecologia e as ciências sociais, passando pela química e pela biologia. A física de não equilíbrio estuda os processos dissipativos, caracterizados por um tempo unidirecional, e, com isso, confere uma nova significação à irreversibilidade. Precedentemente, a flecha do tempo estava associada a processos muito simples, como a difusão, o atrito, a viscosidade. Podia-se concluir que esses processos eram compreensíveis com o auxílio simplesmente das leis da dinâmica. O mesmo não ocorre hoje em dia. A irreversibilidade não aparece mais apenas em fenômenos tão simples. Ela está na base de um sem-número de fenômenos novos, como a formação dos turbilhões, das oscilações químicas ou da radiação laser. Todos esses fenômenos ilustram o papel construtivo fundamental da flecha do tempo. A irreversibilidade não pode mais ser identificada com uma mera aparência que desapareceria se tivéssemos acesso a um conhecimento perfeito. Ela é uma condição essencial de comportamentos coerentes em populações de bilhões de bilhões de moléculas. Segundo uma frase que gosto de repetir: a matéria é cega ao equilíbrio ali onde a flecha do tempo não se manifesta; mas quando esta se manifesta, longe do equilíbrio, a matéria começa a ver! Sem a coerência dos processos irreversíveis de não equilíbrio, o aparecimento da vida na Terra seria inconcebível. A tese de que a flecha do tempo é apenas fenomenológica torna-se absurda. Não somos nós que geramos a flecha do tempo. Muito pelo contrário, somos seus filhos.

O segundo desenvolvimento relativo à revisão do conceito de tempo na física foi o dos sistemas dinâmicos instáveis. A ciência clássica privilegiava a ordem, a estabilidade, ao passo que em todos os níveis de observação reconhecemos agora o papel primordial das flutuações e da instabilidade. Associadas a essas noções, aparecem também as escolhas múltiplas e os horizontes de previsibilidade limitada. Noções como a de caos tornaram-se populares e invadem todos os campos da ciência, da cosmologia à economia. Mas, como mostraremos neste livro, os sistemas dinâmicos instáveis levam também a uma extensão da dinâmica clássica e da física quântica e, a partir daí, a uma formulação nova das leis fundamentais da física. Esta formulação quebra a simetria entre passado e futuro que a física tradicional afirmava, inclusive a mecânica quântica e a relatividade. Essa física tradicional unia conhecimento completo e certeza: desde que fossem dadas condições iniciais apropriadas, elas garantiam a previsibilidade do futuro e a possibilidade de retrodizer o passado. Desde que a instabilidade é incorporada, a significação das leis da natureza ganha um novo sentido. Doravante, elas exprimem possibilidades.

A ambição deste livro é apresentar essa transformação das leis da física e, portanto, de toda a nossa descrição da natureza.

Outras questões estão diretamente ligadas ao problema do tempo. Uma é o papel estranho conferido ao observador na teoria quântica. O paradoxo do tempo faz de nós os responsáveis pela quebra de simetria temporal observada na natureza. Mais ainda, porém, o observador é que seria responsável por um aspecto fundamental da teoria quântica, que é a chamada redução da função de onda. Este papel que ela atribui ao observador é que, como veremos, deu à mecânica quântica seu aspecto aparentemente subjetivista e suscitou controvérsias intermináveis. Na interpretação usual, a medição, que impõe uma referência ao observador na teoria quântica, corresponde a uma quebra de simetria temporal. Em compensação, a introdução da instabilidade na teoria quântica leva a uma quebra da simetria do tempo. O observador quântico perde, a partir daí, seu estatuto singular! A solução do paradoxo do tempo fornece também uma solução ao *paradoxo quântico* e leva a uma formulação realista da teoria. Sublinhemos que isto não nos faz voltar à ortodoxia clássica e determinista; muito pelo contrário, nos leva a afirmar ainda mais o caráter estatístico da mecânica quântica.

Como já ressaltamos, tanto na dinâmica clássica quanto na física quântica, as leis fundamentais exprimem agora possibilidades e não mais certezas. Temos não só leis, mas também eventos que não são dedutíveis das leis, mas atualizam as suas possibilidades. Nesta perspectiva, não podemos evitar colocar o problema da significação desse evento primordial que a física batizou de *"big bang"*. Que significa o *big*

bang? Fornece-nos ele as raízes do tempo? Começou o tempo com o *big bang*? Ou o tempo preexistia ao nosso universo?

Chegamos aí às fronteiras de nossos conhecimentos, numa área em que raciocínio físico e especulação dificilmente se demarcam. Sem dúvida, é prematuro falar de demonstração ou de prova, mas é interessante analisar as possibilidades conceituais. Como vamos mostrar, podemos conceber hoje o *big bang* como um evento associado a uma instabilidade, o que implica que ele é o ponto de partida de nosso universo, mas não o do tempo. Enquanto o nosso universo tem uma idade, o meio cuja instabilidade produziu este universo não a teria. Nesta concepção, o tempo não tem início e provavelmente não tem fim!

É satisfatório o fato de que, mesmo em suas fronteiras, a física possa afirmar o caráter primordial da flecha do tempo, mas o essencial de nossa tarefa continua sendo a formulação das leis da natureza na área em que se situa principalmente o nosso diálogo experimental, a área das baixas energias, a da física macroscópica, da química e da biologia. É exatamente aí que se atam os laços que unem a existência humana à natureza.

A questão do tempo e do determinismo não se limita às ciências, mas está no centro do pensamento ocidental desde a origem do que chamamos de racionalidade e que situamos na época pré-socrática. Como conceber a criatividade humana ou como pensar a ética num mundo determinista? Esta questão traduz uma tensão profunda no interior de nossa tradição, que se pretende, ao mesmo tempo, promotora de um saber objetivo e afirmação do ideal humanista de responsabilidade e de liberdade. A democracia e as ciências modernas são ambas herdeiras da mesma história, mas essa história levaria a uma contradição se as ciências fizessem triunfar uma concepção determinista da natureza, ao passo que a democracia encarna o ideal de uma sociedade livre. Considerarmo-nos estrangeiros à natureza implica um dualismo estranho à aventura das ciências, bem como à paixão de inteligibilidade própria do mundo ocidental. Esta paixão consiste, segundo Richard Tarnas, em “reencontrar sua unidade com as raízes de seu ser”. * Pensamos situar-nos hoje num ponto crucial dessa aventura, no ponto de partida de uma nova racionalidade que não mais identifica ciência e certeza, probabilidade e ignorância.

Neste fim de século, a questão do futuro da ciência é muitas vezes colocada. Para alguns, como Stephen Hawking em sua *Breve história do tempo*,[†] estamos próximos do fim, do momento em que seremos capazes de decifrar o “pensamento de Deus”. Creio, pelo contrário, que estamos apenas no começo da aventura. Assistimos ao surgimento de uma ciência que não mais se limita a situações simplificadas, idealizadas, mas nos põe diante da complexidade do mundo real, uma ciência que permite que se viva a criatividade humana como a expressão singular de um traço fundamental comum a todos os níveis da natureza.

Tentei apresentar esta transformação conceitual, que implica a abertura de um novo capítulo na fecunda história das relações entre física e matemática, sob uma forma legível e acessível a todo leitor interessado na evolução de nossas idéias sobre a natureza. Todavia, era inevitável que alguns capítulos, no caso, sobretudo, os capítulos 5 e 6, recorressem a desenvolvimentos um tanto técnicos. Mas os resultados são retomados sob uma forma geral nos capítulos ulteriores. Toda inovação conceitual exige uma justificação precisa e deve delimitar as situações em que permite predições novas. Note-se que essas predições já foram verificadas por simulações feitas no computador.

Embora este livro seja fruto de décadas de trabalho, estamos apenas no início deste novo capítulo da história de nosso diálogo com a natureza. Mas o tempo de vida de cada um de nós é limitado, e decidi apresentar os resultados como eles existem hoje. Não é à visita de um museu de arqueologia que o leitor está convidado, mas sim a uma excursão por uma ciência em evolução.

* TARNAS, R. *The Passion of the Western Mind*. New York: Harmony, 1991. p.443.

† HAWKING, S. *Une breve histoire du temps*. Paris: Flammarion, 1991. (Col. Champs).

CAPÍTULO 9

UM CAMINHO ESTREITO

I

Acabamos de ver que a irreversibilidade poderia ser de origem cosmológica, associada ao próprio nascimento do universo. É necessário à coerência de nossa posição que a flecha do tempo, a diferença entre o papel desempenhado pelo passado e pelo futuro, faça parte da cosmologia, pois ela constitui um traço universal, compartilhado por todos os atores da evolução cósmica, vivos ou não. Mas os fenômenos irreversíveis não pararam com a criação do universo. As reações nucleares continuam no interior do Sol, a vida continua na Terra. Os fenômenos irreversíveis de hoje devem achar sua explicação na física clássica ou quântica de hoje, ainda que seu ponto de partida seja cosmológico. Esta é a posição assumida neste livro. Vinculamos a irreversibilidade a uma nova formulação, probabilista, das leis da natureza. Esta formulação fornece-nos os princípios que permitem decifrar a construção do universo de amanhã, mas é de um universo em construção que se trata. O futuro não é dado. Vivemos o fim das certezas. Será isto uma derrota do espírito humano? Estou convencido do contrário.

Ítalo Calvino escreveu uma deliciosa coletânea de novelas, *Cosmicômicas*,* na qual imagina seres que vivem num estado muito precoce do universo. Eles se reúnem ainda hoje e se lembram da época difícil em que o universo era tão pequeno que seus corpos o preenchiam completamente. A imaginação dos possíveis, a especulação sobre o que poderia ter sido é um dos traços fundamentais da inteligência humana. Que teria sido a história da física se Newton tivesse sido um membro dessa comunidade precoce? Ele teria observado o nascimento e a decomposição de partículas, a aniquilação mútua de matéria e de antimatéria. O universo ter-se-ia mostrado a ele desde o começo como um sistema distante do equilíbrio, com suas instabilidades e suas bifurcações.

Hoje, é possível isolar sistemas dinâmicos simples e verificar as leis da mecânica quântica e clássica. Elas, porém, correspondem sempre a simplificações, a idealizações. O universo é um sistema termodinâmico gigante. Em todos os níveis, encontramos instabilidades e bifurcações. É nesta perspectiva que nos podemos perguntar por que durante tanto tempo o ideal da física esteve associado à certeza, isto é, à denegação do tempo e da criatividade. Da mesma forma que as questões colocadas pelos seres imaginários de Calvino ganham seu sentido na época cosmológica precoce em que o autor as faz existirem, assim também os sistemas simples da mecânica quântica e clássica se referem a nosso universo morno. Da mesma forma também, por assim dizer, a busca apaixonada das certezas que marcou a história da física deve, sem dúvida, ser compreendida no contexto da história europeia em que a física clássica foi formulada.

II

Como alcançar a certeza? Esta é a questão fundamental de René Descartes. Em seu interessantíssimo *Cosmopolis*,† S. Toulmin põe em cena as circunstâncias que levaram Descartes à sua busca de certezas. Sublinha a situação trágica do século XVII, um século de instabilidade política e de guerras de religião. Era em nome de dogmas, de certezas religiosas, que os católicos e os protestantes se matavam uns aos outros. Descartes pôs-se em busca de um outro tipo de certeza, uma certeza que todos os humanos, independentemente de sua religião, pudessem compartilhar. Foi isso que o levou a fazer de seu famoso *cogito* o ponto de partida de sua filosofia e a exigir que a ciência fosse fundada nas matemáticas, o único caminho garantido para a certeza. O programa de Descartes foi retomado e modificado por Leibniz, que procurou construir uma linguagem que permitisse chegar a um acordo geral e, portanto, restabelecer a paz entre os homens. Na ciência, a pesquisa das certezas encontrou finalmente sua consumação suprema na noção de “leis da natureza”, associada à obra de Newton. Essas leis permaneceram como o modelo para a física durante três séculos.

Existe uma notável analogia entre a análise que Toulmin propõe da situação histórica e existencial da busca cartesiana e aquela de que é testemunha a atitude de Einstein para com a ciência. Para Einstein

* CALVINO, I. *Le Cosmicomiche*. Turim: Einaudi, 1963.

† TOULMIN, S. *Cosmopolis*. Chicago: Chicago University Press, 1990.

também, a ciência permitia escapar aos tormentos da existência quotidiana. Ele comparou a vocação científica ao “desejo ardente que atrai o habitante da cidade para fora de seu ambiente barulhento e confuso, para as regiões tranqüilas das altas montanhas”.* Einstein tinha uma concepção profundamente pessimista da vida humana. Vivia numa época trágica da história humana, a época do fascismo, do antissemitismo e das duas guerras mundiais. Sua visão da física, triunfo último da razão humana sobre um mundo decepcionante e violento, fortaleceu no século XX a oposição entre o conhecimento objetivo e o terreno do incerto e do subjetivo.

E, no entanto, a ciência concebida por Einstein como aquela que permite escapar das maldições da história ainda representa a ciência de hoje? O cientista não pode, como tampouco o homem urbano, escapar das cidades poluídas indo para as altas montanhas. As ciências participam da construção da sociedade de amanhã, com todas as suas contradições e suas incertezas. Elas não podem renunciar à esperança, elas que, nos termos de Peter Scott, exprimem da maneira mais direta que “o mundo, o nosso mundo, trabalha sem cessar para estender as fronteiras do que pode ser conhecido e do que pode ser fonte de valor, para transcender o que é dado, para imaginar um mundo novo e melhor”.†

Citei Richard Tarnas já no prefácio deste livro: “a paixão mais profunda do espírito ocidental foi a de reencontrar sua unidade com as raízes de seu ser”.‡ Esta paixão levou à afirmação prometeica do poder da razão, mas também pôde ser identificada ao drama de uma alienação, a uma negação do que constitui a significação e o valor da vida. Estou convencido de que essa mesma paixão é capaz, hoje em dia, de levar a um novo tipo de unidade em nossa visão do mundo, e de que a ciência deve desempenhar um papel importante nessa construção de uma nova coerência.

III

Como mencionamos no capítulo anterior, foi oferecida a Einstein, no final de sua vida, uma coletânea de ensaios§ que incluía uma contribuição do grande matemático Gödel. Este acreditava provar a equivalência entre passado e futuro imaginando a possibilidade de uma viagem ao passado. Em sua resposta a Gödel, Einstein rejeitou essa idéia: por maior que seja a tentação da eternidade, aceitar a possibilidade de voltar ao passado equivale a uma negação da realidade do mundo. Enquanto físico, Einstein não podia aceitar essa conseqüência, no entanto lógica, de suas próprias idéias.

Em “Uma nova refutação do tempo”,¶ o grande escritor Jorge Luis Borges exprime a mesma ambivalência. Conclui ele, após ter exposto as doutrinas que transformam o tempo em ilusão: “E, no entanto, no entanto... negar a sucessão do tempo, negar o eu, negar o universo astronômico são desesperos aparentes e consolos secretos... O tempo é a substância de que sou feito. O tempo é um rio que me arrebatou, mas eu sou o rio; é um tigre que me destroça, mas eu sou o tigre; é um fogo que me consome, mas eu sou o fogo. O mundo, desgraçadamente, é real; e eu, desgraçadamente, sou Borges”. O tempo e a realidade estão irredutivelmente ligados. Negar o tempo pode parecer um consolo ou aparecer como o triunfo da razão humana, é sempre uma negação da realidade.

A negação do tempo foi uma tentação tanto para Einstein, o físico, quanto para Borges, o poeta. Einstein afirmou muitas vezes que aprendera muito mais com Dostoiévski do que com qualquer físico. Numa carta a Max Born, escrevia ele em 1924 que, se fosse obrigado a abandonar a causalidade estrita, preferia “ser sapateiro ou até empregado numa espelunca a ser físico”.**A física, para aspirar a um valor qualquer, devia satisfazer sua necessidade de escapar à tragédia da condição humana. “E, no entanto, no entanto...”, quando Gödel o colocou diante das conseqüências extremas de sua busca, a negação da realidade mesma que o físico procura descrever, Einstein recuou.

* EINSTEIN, A. “Les principes de la recherche scientifique”. In *Comment je vois le monde*. Paris: Flammarion, 1958, p.140.

† SCOTT, E *Knowledge, Culture and the Modern University*. Congres ter gelegenheid van het 75de lustrum van de Rijksuniversiteit Groningen, 1984.

‡ TARNAS, R. *The Passion of the Western Mind*, op. cit., 1991.

§ *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, op. cit., 1949.

¶ Traduzido em francês in *Labyrinthe*. Paris: Gallimard, 1953.

** EINSTEIN, A., BORN, M. *Correspondance 1916-1955*. Paris: Seuil, 1972, p.98.

Podemos, porém, compreender que Einstein tenha recusado aceitar que o acaso possa ser a única resposta a nossas perguntas. O acaso puro é tanto uma negação da realidade e de nossa exigência de compreender o mundo quanto o determinismo o é. O que procuramos construir é um caminho estreito entre essas duas concepções que levam igualmente à alienação, a de um mundo regido por leis que não deixam nenhum lugar para a novidade, e a de um mundo absurdo, acausal, onde nada pode ser previsto nem descrito em termos gerais.

A busca desse caminho estreito é o assunto mesmo deste livro. Esta busca ilustra o papel da criatividade nas ciências. É estranho que a criatividade científica seja com tanta frequência subestimada. Todos sabem que se Shakespeare, Beethoven ou Van Gogh tivessem morrido prematuramente, ninguém jamais teria realizado suas obras. Que dizer a este respeito dos cientistas? Se não tivesse havido um Newton, alguma outra pessoa não teria descoberto as leis clássicas do movimento? Faz-se sentir a personalidade de Clausius na formulação do segundo princípio da termodinâmica? Há algo de verdadeiro neste contraste. A ciência é um empreendimento coletivo. A solução de um problema científico deve, para ser aceita, satisfazer exigências e critérios rigorosos. No entanto, esses constrangimentos não eliminam a criatividade, são desafios para ela.

A formulação do paradoxo do tempo é em si mesma um exemplo extraordinário de criatividade e de imaginação humanas. Se a ciência estivesse limitada ao estudo dos fatos empíricos, como poderia ela ter pensado em negar a flecha do tempo? E a negação da flecha do tempo não foi somente um sonho. A formulação de leis simétricas em relação ao tempo conseguiu combinar as observações empíricas com a criação de estruturas teóricas. E por isso que o paradoxo do tempo não podia ser resolvido com um mero apelo ao senso comum ou com modificações *ad hoc* das leis da dinâmica. Não bastava nem mesmo localizar a fraqueza oculta do edifício clássico. Era preciso que essa fraqueza, a sensibilidade às condições iniciais do caos determinista ou as ressonâncias de Poincaré, assumisse um sentido positivo, se tornasse a origem de uma nova linguagem, a fonte de novas questões físicas e matemáticas. Este é o significado do diálogo com a natureza que identificamos ao conhecimento científico. Ao longo deste diálogo, transformamos o que aparece inicialmente como um obstáculo em estruturas conceituais que conferem um novo significado à relação entre aquele que conhece e o que é conhecido.

O que surge hoje é, portanto, uma descrição mediana, situada entre duas representações alienantes, a de um mundo determinista e a de um mundo arbitrário submetido apenas ao acaso. As leis não governam o mundo, mas este tampouco é regido pelo acaso. As leis físicas correspondem a uma nova forma de inteligibilidade que as representações probabilistas irreduzíveis exprimem. Elas estão associadas à instabilidade e, quer no nível microscópico, quer no macroscópico, descrevem os eventos enquanto possíveis, sem reduzi-los a conseqüências dedutíveis ou previsíveis de leis deterministas. Quem sabe esta distinção entre o que pode ser previsto e controlado e o que não pode sê-lo teria satisfeito a busca de inteligibilidade da natureza no coração da obra de Einstein?

Neste processo de construção de um caminho estreito entre as leis cegas e os eventos arbitrários, descobrimos que grande parte do mundo ao nosso redor havia até então “escorregado entre as malhas da rede científica”, para retomarmos uma expressão de Whitehead. Discernimos novos horizontes, novas questões, novos riscos. Vivemos um momento privilegiado da história das ciências. Espero ter comunicado esta convicção a meus leitores.

A FÍSICA DO SÉCULO XX

Silvio R. A. Salinas

REVISTA ESTUDOS AVANÇADOS IEA/USP v.24 n°68 - São Paulo, 2010

MICHEL PATY, pesquisador emérito do CNRS, fundador da “Equipe REHSEIS”, grupo de trabalho sobre epistemologia e história das ciências da universidade de Paris VII, que tem acolhido um bom número de estudantes brasileiros, foi pesquisador em “física das partículas elementares” no início de carreira, com posição de trabalho no Centro de Pesquisas Nucleares de Estrasburgo, transformando-se mais tarde em filósofo e historiador da ciência reconhecido, com diversos textos publicados na França e alguns no Brasil. Michel Paty está especialmente aparelhado para escrever sobre a física do século XX, que ele viveu como aprendiz e como pesquisador atuante, e que tem sido tema das suas reflexões de filósofo. É ótimo que um texto dessa qualidade, numa linguagem correta, mas evitando tecnicidades e o formalismo matemático da física contemporânea, seja publicado em português, oferecendo material histórico e epistemológico para um público amplo.

O texto de Paty se inicia com uma palavra de cautela, pois talvez ainda não haja distanciamento para apreciar o impacto das ideias e descobertas dos últimos cem anos. O que diria sobre os cem anos anteriores um historiador da ciência no início do século XX? Acho que certas conquistas da “física clássica”, incluindo os desdobramentos da mecânica newtoniana, a física de Laplace e Fourier, a construção da termodinâmica e do eletromagnetismo na segunda metade do século XIX seriam devidamente reconhecidas. Mas teria sido realmente difícil prever novos desenvolvimentos. Lord Kelvin, personalidade maior da física britânica nessa época, utilizava medidas de temperatura das minas, analisadas com a sofisticação da equação do calor de Fourier, para estimar a idade da Terra, colocando em xeque os cálculos geológicos e a teoria da evolução. No final do século, foi descoberta a radioatividade, fonte imensa de energia, e, no “ano milagroso” de 1905, Einstein propôs no contexto da relatividade a relação famosa entre massa e energia, mudando o panorama dos cálculos sobre a idade da Terra e do sistema solar. Cem anos depois, creio que também nos encontramos diante de dúvidas e indagações, especialmente nos domínios da nova cosmologia astrofísica e das tentativas de unificação dos campos fundamentais, que podem mudar a nossa visão da natureza, embora haja conquistas bem estabelecidas, como a teoria da relatividade e a mecânica quântica, tão bem descritas nesse texto.

Os capítulos iniciais percorrem a trajetória conhecida da física no século XX: relatividade, mecânica quântica, átomos e estados da matéria, o interior do núcleo atômico, os campos fundamentais e suas forças. Ninguém mais duvida do “modelo atômico”, que se transformou na própria realidade física contemporânea, pois os átomos atualmente podem ser “vistos” nos microscópios de força atômica, mas a situação era bem diferente no início do século, sob a influência dos energeticistas, quando ainda não se conheciam os resultados das experiências de Perrin sobre o movimento browniano. As seções sobre a “interpretação dos conceitos quânticos” são particularmente interessantes. Apesar do extraordinário sucesso na explicação dos fenômenos na escala atômica, a mecânica quântica incorpora ideias de indeterminação e não localidade, que se chocam com a tradição determinista da física clássica. O problema da medida na mecânica quântica arrebatou opiniões durante parte do século XX: é difícil admitir que o “gato de Schroedinger” esteja numa combinação linear entre “a vida e a morte” antes que um observador (clássico) realize uma medida. Michel Paty relata o debate sobre os fundamentos da mecânica quântica, mostrando que certas questões acabaram sendo postas de forma mais objetiva, sendo finalmente submetidas ao teste da experimentação. As ideias de não localidade se traduziram nas desigualdades de John Bell, que finalmente foram testadas com *lasers* e equipamentos modernos da óptica física, revelando os “fenômenos de descoerência”, compatíveis com a visão quântica. De certa forma, a dualidade onda-partícula, “problema epistemológico” da mecânica quântica, acabou se transformando na própria solução do problema! Segundo Paty, o princípio da superposição e a não comutação dos operadores quânticos

tornaram-se aos poucos uma “segunda natureza”, formando parte da nova “intuição física”. Apesar dessa visão otimista, é preciso apontar certo incômodo que ainda permanece na física do século XXI. Será que a mecânica quântica fornece de fato a descrição definitiva da natureza? Ainda há dúvidas sobre fenômenos a distâncias muito curtas e sobre sistemas complexos, como o próprio gato de Schrodinger, que talvez não possa mesmo ser descrito quanticamente, além de especulações sobre a função de onda do universo, ou sobre a descrição quântica de um aglomerado de universos...

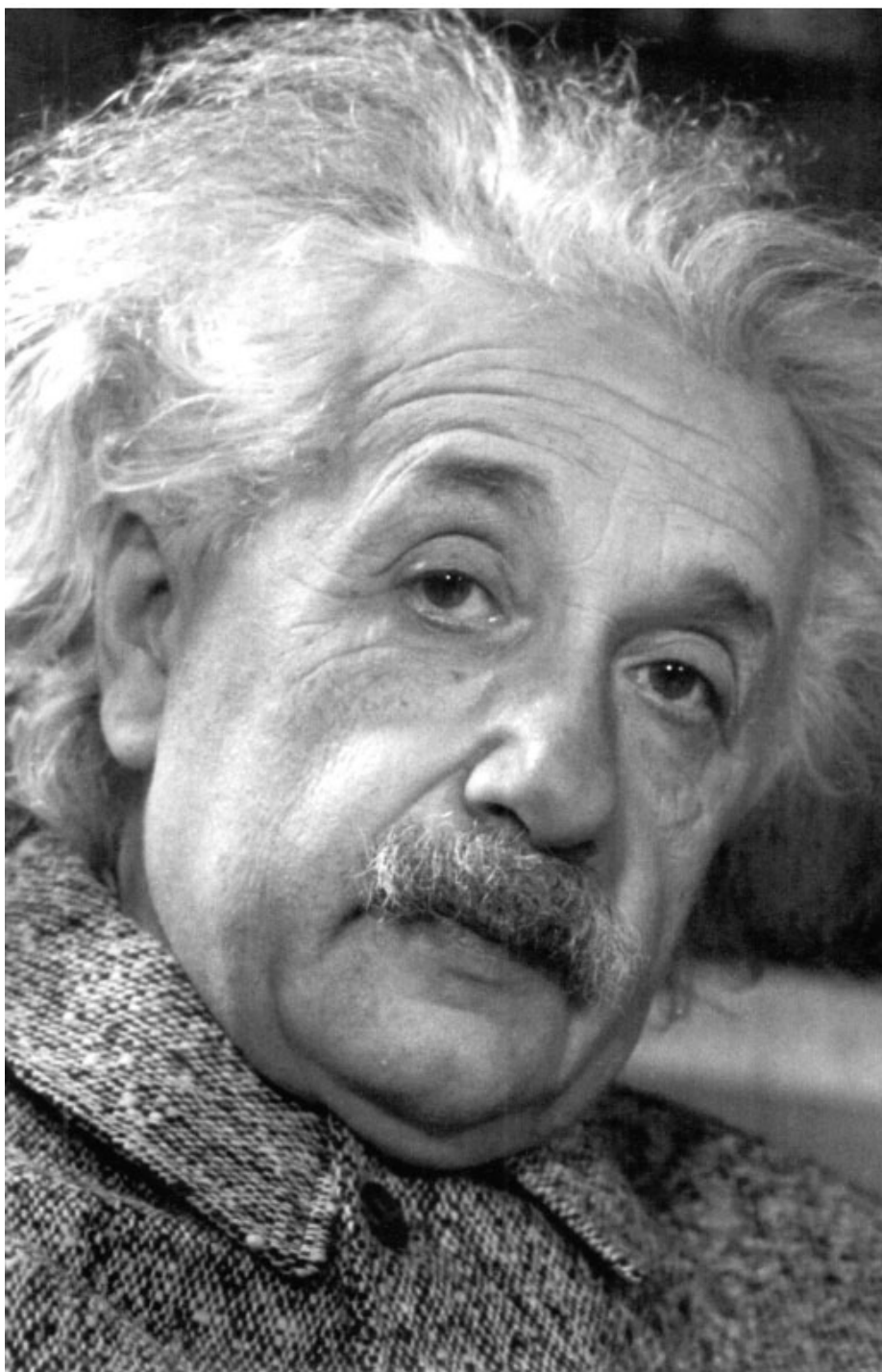


Foto Eric Schaal/Foto Associated Press

O físico e humanista alemão Albert Einstein (1879-1955).

Os capítulos sobre a matéria subatômica - no interior do núcleo atômico, os campos fundamentais e as suas forças - são particularmente primorosos, pois o autor se encontra à vontade, refletindo sobre seus antigos interesses e trabalhos de pesquisa. De forma breve, mas bem apropriada, vão sendo apresentadas as primeiras “partículas elementares”, incluindo o méson identificado por Cesar Lattes e colaboradores nas emulsões fotográficas expostas no Monte Chacaltaya, na Bolívia, e posteriormente produzido “artificialmente” pelo próprio Lattes num dos primeiros aceleradores de partículas. A teoria

das interações fracas, com neutrinos e antineutrinos, o predomínio dos campos, a unificação com o eletromagnetismo maxwelliano e a necessidade de “renormalização”, a “multidão” de partículas elementares e de “ressonâncias” que vão sendo descobertas e resultaram no “modelo dos *quarks*” da década de 1960 são descritos com muita propriedade. Os *quarks*, partículas de carga fracionária com a propriedade de “confinamento”, que não podem ser observadas no estado livre, explicariam a estrutura das partículas subnucleares. Esses resultados conduziram à proposta de um “modelo padrão” da física subnuclear, englobando as teorias eletrofracas e a “cromodinâmica” ou teoria de campos das interações fortes, com enorme dose de legitimidade, explicando até agora a miríade de fenômenos subnucleares, mas aguardando ainda certos testes experimentais, como a comprovação da existência de uma “supersimetria” misturando bósons e férmions, e a descoberta de uma partícula maciça, denominada “bóson de Higgs”, que funcionaria como uma espécie de cola da matéria subnuclear. A ilustração da figura 7.4 é providencial para nos guiar pelas etapas dessa grande unificação, que se inicia com Maxwell unificando os campos elétricos e magnéticos, passa pela eletrodinâmica quântica, incorpora as interações fracas, inclui em seguida os campos fortes, mas deixa em suspenso o campo gravitacional, problema para ser resolvido pela física do século XXI. Michel Paty esteve no Brasil na década de 1960, como estagiário de cooperação do governo francês, participando das novidades e desventuras da universidade de Brasília no início do período militar, e conheceu vários físicos que trabalharam no país. Registra o trabalho seminal de J. J. Giambiagi sobre “regularização dimensional”, que contribuiu para lidar com os infinitos da eletrodinâmica quântica, mas não cita o coautor, Carlos Bollini, que também esteve entre nós, e faleceu muito recentemente na Argentina. Além disso, refere-se ao trabalho pioneiro de Leite Lopes, que foi um precursor da unificação da eletrodinâmica quântica com os campos das interações fracas.

No capítulo 5, “Átomos e estados da matéria”, o tratamento dispensado à física do estado sólido, que engloba atualmente toda a matéria condensada, incluindo as aplicações de maior impacto da mecânica quântica, é infelizmente bem superficial. Afinal de contas, dificilmente estaríamos aqui escrevendo num *laptop* ou nos comunicando pela internet sem essa maravilha dos semicondutores, explicados pela teoria quântica das bandas eletrônicas de energia. A supercondutividade, em baixas e altas temperaturas, a superfluidez, a análise das propriedades elétricas e magnéticas dos materiais, o projeto de novos materiais, são conquistas do século XX. O americano John Bardeen ganhou o Prêmio Nobel duas vezes: pela descoberta do transistor, logo depois da guerra, e mais tarde pela proposta de uma teoria para a explicação da supercondutividade, com repercussões na própria formulação das teorias de campos.

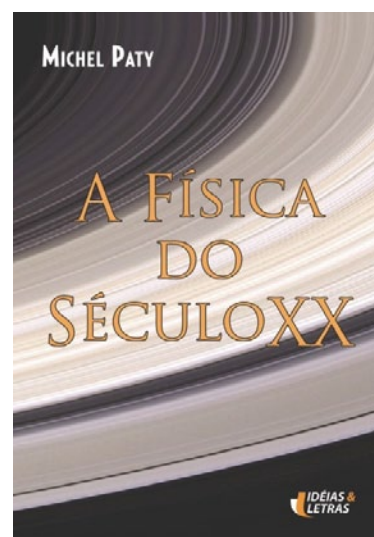
Algumas escolhas de Michel Paty refletem preferências pessoais, opiniões do autor, que poderiam ser questionadas, mas que não prejudicam o conteúdo central. Por exemplo, acho difícil justificar longas seções sobre “sistemas dinâmicos”, tema de maior repercussão no domínio da matemática, mas que se beneficiou enormemente da física computacional, que praticamente não é mencionada no texto. As conexões entre o caos determinístico e os fundamentos da mecânica estatística ainda precisam ser estabelecidas. Quase nada se fala sobre a própria mecânica estatística, em boa parte construída no século XX, com aplicações crescentes no domínio das “organizações complexas da matéria”, ou na “física do cotidiano”, forma pouco adequada de se referir aos interesses pioneiros de Pierre-Gilles de Gennes. O estudo das transições de fase e dos fenômenos críticos recebe tratamento superficial e às vezes equivocado, embora se mencione o “grupo de renormalização”, técnica fecunda destinada a lidar com fenômenos sem uma escala bem definida, como as flutuações de tamanho das gotículas de um fluido nas vizinhanças do ponto crítico. Nesse caso, os materiais da física dos sólidos - e os modelos da física estatística - proporcionaram os testes adequados da teoria, que de outra forma teria que aguardar experiências delicadas (e caríssimas) no domínio das altas energias. Outras escolhas de Paty são interessantes, mas também me parecem um tanto distantes das conquistas do que se poderia delimitar como a física do século XX; refiro-me aqui ao capítulo 9, sobre a dinâmica da terra, com um apanhado dos avanços da geofísica, mencionando até as hipóteses sobre a extinção dos dinossauros, e ao capítulo 12, sobre as origens, com atenção especial às origens do homem, da vida e da terra, que sem dúvida podem ser atualmente analisadas sob um prisma cientificamente mais rigoroso, embora não haja um balanço da contribuição crescente dos físicos, pelo menos da aplicação aos sistemas biológicos de métodos e técnicas oriundos da física. Francis Crick, físico de formação, participou de uma das descobertas biológicas mais marcantes do século XX,

utilizando técnicas de raios X, e tendo sido estimulado talvez por conferências famosas de Schroedinger, indagando sobre a vida e sobre a mente.

Nos capítulos finais, sobre os objetos do cosmo (planetas, estrelas, galáxias, radiações) e sobre a cosmologia contemporânea (expansão e transformação do universo), Michel Paty retorna ao domínio histórico da física, que agora dispõe de uma imensa coleção de dados experimentais proporcionados por telescópios cada vez mais potentes, instalados até mesmo em estações orbitais. A astronomia contemporânea se associa à astrofísica e à cosmologia, permitindo indagações que no passado estariam fora dos domínios da ciência. A observação da radiação de fundo por Penzias e Wilson em 1965 suscitou o enorme impulso da cosmologia e dos seus modelos dinâmicos. A teoria geral da relatividade, aplicada inicialmente para explicar os avanços no periélio de Mercúrio e a curvatura dos raios de luz nas vizinhanças do Sol, pode agora ser aplicada para dar conta de fenômenos associados a sistemas maciços e compactos (pulsares, quasares e até buracos negros), com vantagens evidentes sobre a gravitação newtoniana. A procura por planetas fora do sistema solar se iniciou na última década e continua com vigor, antevendo no século XXI as pesquisas sobre outras formas de vida e de inteligência. Um resultado notável foi a detecção em 1987 de neutrinos em laboratórios do Japão e dos Estados Unidos em coincidência com a observação de uma estrela supernova na Nuvem de Magalhães. Talvez Paty pudesse ter mencionado o trabalho especulativo de George Gamow e Mario Schoenberg, na década de 1940, propondo o “processo urca”, em que os neutrinos transportam a enorme energia liberada pela formação da supernova, à semelhança das fortunas que trocavam de mão no cassino do Rio.

Paty argumenta que a cosmologia contemporânea é transformada em ciência física, sem restrições, a partir do estabelecimento empírico da lei de Hubble, propondo um universo em expansão constante. Como a distância fornece uma medida direta do tempo que a luz demora para chegar até nós, os hipertelescópios modernos permitem a investigação do universo nos seus primeiros estados, proporcionando contato com as observações nos grandes aceleradores, que consideram dimensões “infinitamente pequenas”. Surge então o modelo teórico do “Big Bang”, elevado ao *status* de “modelo padrão”, embora haja dúvidas e problemas para o século XXI. Um balanço da massa do universo revela déficit impressionante, que seria preenchido pela “matéria escura”, praticamente não interagente com a matéria hadrônica normal. Medidas mais recentes indicam que a expansão do universo está sendo acelerada, fenômeno que se explicaria pela presença de energia escura, que também desconhecemos. Fala-se ainda no déficit do balanço de entropia. Em suma, há uma boa coleção de problemas para os físicos do século XXI, que talvez consigam quantizar o campo gravitacional e completar as atuais teorias de cordas...

Num dos últimos capítulos, sobre “objetos e métodos”, Paty aborda a questão da “*big science*”: a investigação do infinitamente grande exige hipertelescópios, situados às vezes em órbita espacial; a investigação do infinitamente pequeno, das curtíssimas distâncias, exige superaceleradores de partículas, com energias cada vez maiores, e certamente cada vez mais dispendiosos. Paty se refere ao CERN, consórcio de vários países europeus para colaboração na área de partículas elementares, que tenta colocar em funcionamento o maior desses aceleradores, o “Large Hadron Collider”, ou LHC, um túnel com 27 km de circunferência, entre a França e a Suíça, e que talvez traga informações adicionais sobre a validade do “modelo padrão”. Mas Paty não menciona o grande projeto da segunda metade do século XX, o “Superconducting Super Collider”, SSC, um anel com cerca de 90 km, cuja construção chegou a ser iniciada no Texas, mas que foi descartado em 1993, quando o Senado americano vetou um orçamento que atingia uma dezena de bilhões de dólares. A “*big science*”, praticada por equipes imensas, às vezes com centenas de pesquisadores, envolve instrumentos cada vez mais caros, talvez exorbitantemente caros, que dificilmente serão justificados pelos seus benefícios indiretos. Desde o Renascimento, passando pelas propostas do século XX, a física sempre se desenvolveu por meio do diálogo entre teoria e experiência,



PATY, Michel. A física do século XX.

Trad. sob coord. Pablo R. Mariconda.

São Paulo: Ideias e Letras, 2009. 496p.

mas esse diálogo será mais complicado no século XXI.

Há poucos reparos ao texto: pequenos errinhos que podem ser corrigidos na próxima edição. Sugiro atenção à grafia de algumas letras gregas e de certos símbolos matemáticos. Os “quadros explicativos” e as ilustrações em geral são muito úteis. A tradução, com poucos deslizes, sob a responsabilidade do professor Pablo Mariconda, foi feita por um grupo de pesquisadores*, como o próprio coordenador esclarece em nota publicada em *Scientia Studia*. No final, há vasta bibliografia, além de índices de assuntos e nomes citados. Em suma, trata-se de ótimo texto em português, escrito para um público amplo, cumprindo com certeza a missão de transmitir ao leitor a “paixão intelectual” dessa aventura que foi a construção da física no século XX.

Silvio R. A. Salinas é professor do Instituto de Física da USP. @ - ssalinas@if.usp.br

* Irinéa de Lourdes Batista, Claudemir Roque Tossato, Maurício de Carvalho Ramos, Lúcio Campos Costa, Maria Aparecida Correa Paty e Olival Freire.

DA CIÊNCIA MODERNA AO NOVO SENSO COMUM*

Boaventura de Sousa Santos

Obra: A crítica da razão indolente: contra o desperdício da experiência.

Cortez - São Paulo, 2000

DE REGRESSO ÀS PERGUNTAS SIMPLES

Para Piaget, a epistemologia prospera em períodos de crise (Piaget, 1967: 7). A forma como a crise é identificada condiciona a direcção da viragem epistemológica. Contudo, o conhecimento usado para construir uma dada definição da crise tende a ser considerado, do ponto de vista de uma definição alternativa da mesma, como parte da crise que se procura definir. Por isso, a exterioridade do conhecimento relativamente às condições que analisa é apenas provisória, estando momentaneamente suspensa entre uma interioridade passada ou pré-reflexiva, e uma interioridade futura ou pós-reflexiva. O conhecimento, sobretudo o conhecimento crítico, move-se, assim, entre a ontologia (a interpretação da crise) e a epistemologia (a crise da interpretação), sem que, contudo, lhe caiba decidir qual dos dois estatutos prevalecerá, e por quanto tempo. Assim, o que de facto prospera em períodos de crise não é a epistemologia em si, mas a hermenêutica crítica de epistemologias rivais. Neste capítulo, procurarei desenvolver uma possível hermenêutica crítica da epistemologia dominante.

Em minha opinião, o que mais nitidamente caracteriza a condição sócio-cultural deste fim de século é a absorção do pilar da emancipação pelo da regulação, fruto da gestão reconstrutiva dos défices e dos excessos da modernidade confiada a ciência moderna e, em segundo lugar, ao direito moderno. A colonização gradual das diferentes racionalidades da emancipação moderna pela racionalidade cognitivo-instrumental da ciência levou à concentração das energias e das potencialidades emancipatórias da modernidade na ciência e na técnica. Não surpreende que a teoria social e política que mais sistematicamente explorou o potencial emancipatório da modernidade — o marxismo — tenha descoberto esse potencial no desenvolvimento tecnológico das forças produtivas e tenha mobilizado a racionalidade cognitivo-instrumental para se legitimar a si mesmo (o marxismo como ciência) e para legitimar o modelo de sociedade por si pensado (o socialismo científico). Surpreendente, talvez, será o facto de o mesmo poder dizer-se do socialismo utópico. A sua versão mais radical e conseqüente, o fourierismo, era profundamente tributária da racionalidade e do *ethos* científicos, como exemplarmente o demonstram os cálculos matemáticos de Fourier para determinar a dimensão exacta dos falanstérios e dos seus elementos constitutivos (Fourier, 1967: 162). A hipercientificização do pilar da emancipação permitiu promessas brilhantes e ambiciosas. No entanto, à medida que o tempo passava, tornou-se claro não só que muitas dessas promessas ficaram por cumprir, mas também que a ciência moderna, longe de eliminar os excessos e os défices, contribuiu para os recriar em moldes sempre renovados, e, na verdade, para agravar alguns deles.

A promessa da dominação da natureza, e do seu uso para o benefício comum da humanidade, conduziu a uma exploração excessiva e despreocupada dos recursos naturais, à catástrofe ecológica, à ameaça nuclear, à destruição da camada de ozono, e à emergência da biotecnologia, da engenharia genética e da conseqüente conversão do corpo humano em mercadoria última. A promessa de uma paz perpétua, baseada no comércio, na racionalização científica dos processos de decisão e das instituições, levou ao desenvolvimento tecnológico da guerra e ao aumento sem precedentes do seu poder destrutivo. A promessa de uma sociedade mais justa e livre, assente na criação da riqueza tornada possível pela conversão da ciência em força produtiva, conduziu à espoliação do chamado Terceiro Mundo e a um abismo cada vez maior entre o Norte e o Sul. Neste século morreu mais gente de fome do que em qualquer dos sécu-

* Neste capítulo aprofundo e amplio as teses já apresentadas em *Um Discurso Sobre as Ciências* (1987). Para garantir a coerência e a inteligibilidade das novas análises, reproduzo, com ligeiríssimas alterações, em algumas secções deste capítulo, o que foi escrito e publicado anteriormente.

los anteriores*, e mesmo nos países mais desenvolvidos continua a subir a percentagem dos socialmente excluídos, aqueles que vivem abaixo do nível de pobreza (o chamado “Terceiro Mundo interior”).

Para entender correctamente o desenvolvimento desequilibrado e hipercientificizado do pilar da emancipação é necessário não esquecer o desenvolvimento concomitante, e igualmente desequilibrado, do pilar da regulação nos últimos dois séculos. Em vez de um desenvolvimento harmónico dos três princípios da regulação — Estado, mercado e comunidade —, assistimos geralmente ao desenvolvimento excessivo do princípio do mercado em detrimento do princípio do Estado e do princípio da comunidade†. Desde a primeira vaga industrial — com a expansão das cidades comerciais e o aparecimento de novas cidades industriais no período do capitalismo liberal — até ao espectacular desenvolvimento dos mercados mundiais — com o aparecimento de sistemas de produção de dimensão mundial, a industrialização do Terceiro Mundo e a emergência de uma ideologia mundial de consumismo no actual período do “capitalismo desorganizado” —, o pilar da regulação sofreu um desenvolvimento desequilibrado, orientado para o mercado.

A redução da emancipação moderna à racionalidade cognitivo-instrumental da ciência e a redução da regulação moderna ao princípio do mercado, incentivadas pela conversão da ciência na principal força produtiva, constituem as condições determinantes do processo histórico que levou a emancipação moderna a render-se à regulação moderna. Em vez de se dissolver no pilar da regulação, o pilar da emancipação continuou a brilhar, mas com uma luz que já não provinha da tensão dialéctica inicial entre regulação e emancipação — tensão que ainda pode ser percebida, já sob o crepúsculo, na divisa do positivismo oitocentista “ordem e progresso” —, mas sim dos diferentes espelhos que reflectiam a regulação. Neste processo, a emancipação deixou de ser o outro da regulação para se converter no seu duplo. Assim se compreende a síndrome de esgotamento e bloqueamento globais: a proliferação dos espelhos da regulação dá lugar a práticas sociais cada vez mais contingentes e convencionais, mas essa contingência e essa convencionalidade coexistem, a nível global, com um grau cada vez maior de rigidez e de inflexibilidade. Tudo parece possível na arte e na ciência, na religião e na moral, mas, por outro lado, nada de novo parece ser viável ao nível da sociedade como um todo‡.

A absorção da emancipação pela regulação — fruto da hipercientificização da emancipação combinada com a hipermercadorização da regulação —, neutralizou eficazmente os receios outrora associados à perspectiva de uma transformação social profunda e de futuros alternativos. Todavia, produziu ao mesmo tempo uma nova sensação de insegurança, motivada pelo receio de desenvolvimentos incontrolláveis, que pudessem ocorrer aqui e agora, precisamente como resultado da contingência e da convencionalidade generalizadas de práticas sociais sectoriais. A própria regulação desacreditou-se ideologicamente enquanto pilar da modernidade, devido às suas contradições internas. Por outras palavras, a contingência global e a convencionalidade minaram a regulação sem promover a emancipação: enquanto a regulação se torna impossível, a emancipação torna-se impensável.

A um nível mais profundo, esta sensação de insegurança tem as suas raízes na crescente assimetria entre a capacidade de agir e a capacidade de prever. A ciência e a tecnologia aumentaram a nossa capacidade de acção de uma forma sem precedentes, e, com isso, fizeram expandir a dimensão espaço-temporal dos nossos actos. Enquanto anteriormente os actos sociais partilhavam a mesma dimensão espaço-temporal das suas conseqüências, hoje em dia a intervenção tecnológica pode prolongar as conseqüências, no tempo e no espaço, muito para além da dimensão do próprio acto através de nexos de causalidade cada vez mais complexos e opacos.

A expansão da capacidade de acção ainda não se fez acompanhar de uma expansão semelhante da capacidade de previsão, e, por isso, a previsão das conseqüências da acção científica é necessariamente muito menos científica do que a acção científica em si mesma. Esta assimetria tanto pode ser considerada

* Segundo dados da FAO, há 500 milhões de pessoas a morrer de fome. No ano 2000, das 25 cidades com mais de 11 milhões de habitantes, 22 serão do Terceiro Mundo.

† Este processo histórico não foi, de modo nenhum, linear. Por exemplo, nos países centrais, durante o segundo período do capitalismo (o do capitalismo organizado) assistiu-se a uma articulação mais equilibrada entre o princípio do mercado e o princípio do Estado que conduziu a uma nova forma de Estado: o Estado-Providência. Este tema será desenvolvido no Capítulo 2.

‡ Cfr. Offe (1987) para uma análise da sensação de esgotamento e bloqueamento total dos países centrais.

um excesso como um déficit: a capacidade de acção é excessiva relativamente à capacidade de previsão das conseqüências do acto em si ou, pelo contrário, a capacidade de prever as conseqüências é deficitária relativamente à capacidade de as produzir. Estas duas leituras não são intermutáveis, dado que se referem a processos distintos e evidenciam preocupações diferentes. A primeira põe em causa a noção de progresso científico e a segunda limita-se a exigir mais progresso científico.

Foi a segunda leitura (um déficit de ciência) que prevaleceu até agora, estando alicerçada no que Hans Jonas chamou utopismo automático da tecnologia: o futuro como repetição “clónica” do presente (Jonas, 1985). A primeira leitura (a ciência como excesso) é ainda uma leitura marginal, mas a preocupação que suscita está a ganhar uma credibilidade cada vez maior: como é que a ciência moderna, em vez de erradicar os riscos, as opacidades, as violências e as ignorâncias, que dantes eram associados à pré-modernidade, está de facto a recriá-los numa forma hipermoderna? O risco é actualmente o da destruição maciça através da guerra ou do desastre ecológico; a opacidade é actualmente a opacidade dos nexos de causalidade entre as acções e as suas conseqüências; a violência continua a ser a velha violência da guerra, da fome e da injustiça, agora associada à nova violência da *hubris* industrial relativamente aos sistemas ecológicos e à violência simbólica que as redes mundiais da comunicação de massa exercem sobre as suas audiências cativas. Por último, a ignorância é actualmente a ignorância de uma necessidade (o utopismo automático da tecnologia) que se manifesta como o culminar do livre exercício da vontade (a oportunidade de criar escolhas potencialmente infinitas).

Optar por uma destas duas leituras da situação presente da ciência moderna não é tarefa fácil. Os sintomas são profundamente ambíguos e conduzem a diagnósticos contraditórios. Se uns parecem sustentar, de modo convincente, que a ciência moderna é a solução dos nossos problemas, outros parecem defender, com igual persuasão, que a ciência moderna é ela própria parte dos nossos problemas. Recorrendo à teoria sinérgica do físico teórico Hermann Haken (1977), podemos dizer que vivemos num sistema visual muito instável em que a mínima flutuação da nossa percepção visual provoca rupturas na simetria do que vemos. Assim, olhando a mesma figura, ora vemos um vaso grego branco recortado sobre um fundo preto, ora vemos dois rostos gregos de perfil, frente a frente, recortados sobre um fundo branco. Qual das imagens é verdadeira? Ambas e nenhuma. E esta a ambigüidade e a complexidade da situação do tempo presente.

Tal como noutros períodos de transição, difíceis de entender e de percorrer, é necessário voltar às coisas simples, à capacidade de formular perguntas simples, perguntas que, como Einstein costumava dizer, só uma criança pode fazer mas que, depois de feitas, são capazes de trazer uma luz nova à nossa perplexidade. A minha criança preferida viveu há mais de duzentos anos e fez algumas perguntas simples sobre as ciências e os cientistas. Fê-las no início de um ciclo de produção científica que muitos de nós julgam estar agora a chegar ao fim. Essa criança é Jean-Jacques Rousseau. No seu célebre *Discurso sobre as Ciências e as Artes* (1750), Rousseau formula várias questões enquanto responde à questão, também razoavelmente infantil, que lhe fora posta pela Academia de Dijon (Rousseau, 1971: 52). Esta última questão rezava assim: o progresso das ciências e das artes contribuirá para purificar ou para corromper os nossos costumes? Trata-se de uma pergunta elementar, ao mesmo tempo profunda e fácil de entender. Para lhe dar resposta — do modo eloqüente que lhe mereceu o primeiro prêmio e algumas inimizades — Rousseau fez as seguintes perguntas não menos elementares: há alguma relação entre a ciência e a virtude? Há alguma razão de peso para substituímos o conhecimento vulgar que temos da natureza e da vida e que partilhamos com os homens e mulheres da nossa sociedade pelo conhecimento científico produzido por poucos e inacessível à maioria? Contribuirá a ciência para diminuir o fosso crescente na nossa sociedade entre o que se é e o que se aparenta ser, o saber dizer e o saber fazer, entre a teoria e a prática? Perguntas simples a que Rousseau responde, de modo igualmente simples, com um redondo não.

Estávamos então em meados do século XVIII, numa altura em que a ciência moderna, saída da revolução científica do século XVI pelas mãos de Copérnico, Galileu e Newton, começava a deixar os cálculos esotéricos dos seus cultores para se transformar no fermento de uma transformação técnica e social sem precedentes na história da humanidade. Uma fase de transição, pois, que deixava perplexos os espíritos mais atentos e os fazia reflectir sobre os fundamentos da sociedade em que viviam e sobre o impacto das

vibrações a que eles iam ser sujeitos por via da ordem científica emergente. Hoje, duzentos anos volvidos, somos todos protagonistas e produtos dessa nova ordem, testemunhos vivos das transformações que ela produziu. Mas estamos de novo perplexos, perdemos a confiança epistemológica; instalou-se em nós uma sensação de perda irreparável tanto mais estranha quanto não sabemos ao certo o que estamos em vias de perder; admitimos mesmo, noutros momentos, que essa sensação de perda seja apenas o medo que sempre precede os últimos ganhos do progresso científico. No entanto, existe sempre a perplexidade de não sabermos o que haverá, de facto, a ganhar.

Daí a ambigüidade e complexidade do tempo presente. Daí também a idéia, hoje partilhada por muitos, de estarmos numa fase de transição. Daí, finalmente, a urgência de dar resposta a perguntas simples, elementares, inteligíveis. Uma pergunta elementar é uma pergunta que atinge o magma mais profundo da nossa perplexidade individual e colectiva com a transparência técnica de uma fisga. Foram assim as perguntas de Rousseau; terão de ser assim as nossas. Mais do que isso, duzentos e tal anos depois, as nossas perguntas continuam a ser as de Rousseau.

Estamos de novo regressados à necessidade de perguntar pelas relações entre a ciência e a virtude, pelo valor do conhecimento dito ordinário ou vulgar que nós, sujeitos individuais ou colectivos, criamos e usamos para dar sentido às nossas práticas e que a ciência teima em considerar irrelevante, ilusório e falso; e temos, finalmente, de perguntar pelo papel de todo o conhecimento científico acumulado no enriquecimento ou no empobrecimento prático das nossas vidas, ou seja, pelo contributo positivo ou negativo da ciência para a nossa felicidade. A nossa diferença em relação a Rousseau é que, se as nossas perguntas são simples, as respostas sê-lo-ão muito menos. Rousseau viveu no início de um ciclo de hegemonia de uma certa ordem científica com cujo fim provavelmente nos confrontamos hoje. As condições epistémicas das nossas perguntas estão inscritas no avesso dos conceitos que utilizamos para lhes dar resposta. Questionar o paradigma da ciência moderna não é, em si, uma questão científica e pode facilmente transformar-se numa falsa questão ou, quando muito, no objecto de outra questão científica (a sociologia da ciência): porque é que, afinal de contas, a questão paradigmática se levanta?

Teremos forçosamente de ser mais rousseaunianos no perguntar do que no responder. Numa época de hegemonia quase indiscutível da ciência moderna, a resposta à pergunta sobre o significado sócio-cultural da crise da ciência moderna, ou seja, a *démarche* da hermenêutica crítica, não pode obter-se sem primeiro se questionarem as pretensões epistemológicas da ciência moderna. É o que a seguir faremos.

O PARADIGMA DOMINANTE

O modelo de racionalidade que preside à ciência moderna constituiu-se a partir da revolução científica do século XVI e foi desenvolvido nos séculos seguintes basicamente no domínio das ciências naturais. Ainda que com alguns prenúncios no século XVIII, é só no século XIX que este modelo de racionalidade se estende às ciências sociais emergentes. A partir de então pode falar-se de um modelo global (isto é, ocidental) de racionalidade científica que admite variedade interna, mas que se defende ostensivamente de duas formas de conhecimento não científico (e, portanto, potencialmente perturbadoras): o senso comum e as chamadas humanidades ou estudos humanísticos (em que se incluíam, entre outros, os estudos históricos, filológicos, jurídicos, literários, filosóficos e teológicos).

Sendo um modelo global, a nova racionalidade científica é também um modelo totalitário, na medida em que nega o carácter racional a todas as formas de conhecimento que se não pautarem pelos seus princípios epistemológicos e pelas suas regras metodológicas. É esta a sua característica fundamental e a que melhor simboliza a ruptura do novo paradigma científico com os que o precedem. Está consubstanciada, com crescente definição, na teoria heliocêntrica do movimento dos planetas de Copérnico, nas leis de Kepler sobre as órbitas dos planetas, nas leis de Galileu sobre a queda dos corpos, na grande síntese da ordem cósmica de Newton e, finalmente, na consciência filosófica que lhe conferem Bacon e Descartes. Esta preocupação em testemunhar uma ruptura fundante que possibilita uma e só uma forma de conhecimento verdadeiro está bem patente na atitude mental dos protagonistas, no seu espanto perante as próprias descobertas e na extrema e ao mesmo tempo serena arrogância com que se medem com os seus contemporâneos.

Para citar apenas dois exemplos, Kepler escreve no seu livro sobre a *Harmonia do Mundo* publicado em 1619, a propósito das harmonias naturais que descobrira nos movimentos celestiais:

Perdoai-me, mas estou feliz; se vos zangardes eu perseverarei; (...) O meu livro pode esperar muitos séculos pelo seu leitor. Mas mesmo Deus teve de esperar seis mil anos por aqueles que pudessem contemplar o seu trabalho (Kepler, 1939: 280).

Por outro lado, Descartes, nessa maravilhosa autobiografia espiritual que é o *Discurso do Método* e a que voltarei mais tarde, diz, referindo-se ao método por si encontrado:

Porque já colhi dele tais frutos que, embora no juízo que faço de mim próprio, procure sempre inclinar-me mais para o lado da desconfiança do que para o da presunção, e embora, olhando com olhar de filósofo as diversas acções e empreendimentos de todos os homens, não haja quase nenhuma que não me pareça vã e inútil, não deixo de receber uma extrema satisfação com o progresso que julgo ter feito em busca da verdade e de conceber tais esperanças para o futuro que, se entre as ocupações dos homens, puramente homens, alguma há que seja solidamente boa e importante, ousa crer que é aquela que escolhi (Descartes, 1984: 6).

Para compreender esta confiança epistemológica é necessário descrever, ainda que sucintamente, os principais traços do novo paradigma científico. Cientes de que o que os separa do saber aristotélico e medieval ainda dominante não é apenas, nem tanto, uma melhor observação dos factos como sobretudo uma nova visão do mundo e da vida, os protagonistas do novo paradigma conduzem uma luta apaixonada contra todas as formas de dogmatismo e de autoridade. O caso de Galileu é particularmente exemplar, ou ainda a afirmação de independência intelectual de Descartes: “Eu não podia escolher ninguém cujas opiniões me parecessem dever ser preferidas às dos outros, e encontrava-me como que obrigado a procurar conduzir-me a mim próprio” (Descartes, 1984: 16). Esta nova visão do mundo e da vida conduz a duas distinções fundamentais, entre conhecimento científico e conhecimento do senso comum, por um lado, e entre natureza e pessoa humana, por outro.

Ao contrário da ciência aristotélica, a ciência moderna desconfia sistematicamente das evidências da nossa experiência imediata. Tais evidências, que estão na base do conhecimento vulgar, são ilusórias. Como bem salienta Einstein no prefácio ao *Diálogo sobre os Grandes Sistemas do Mundo*, Galileu esforça-se denodadamente por demonstrar que a hipótese dos movimentos de rotação e de translação da Terra não é refutada pelo facto de não observarmos quaisquer efeitos mecânicos desses movimentos, ou seja, pelo facto de a Terra nos parecer parada e quieta (Einstein, 1970: xvii). Por outro lado, é total a separação entre a natureza e o ser humano. A natureza é tão-só extensão e movimento; é passiva, eterna e reversível, mecanismo cujos elementos se podem desmontar e depois relacionar sob a forma de leis; não tem qualquer outra qualidade ou dignidade que nos impeça de desvendar os seus mistérios, desvendamento que não é contemplativo, mas antes activo, já que visa conhecer a natureza para a dominar e controlar. Como diz Bacon, a ciência fará da pessoa humana “o senhor e o possuidor da natureza” (1933)*.

Com base nestes pressupostos, o conhecimento científico avança pela observação descomprometida e livre, sistemática e tanto quanto possível rigorosa dos fenómenos naturais. O *Novum Organum* opõe a incerteza da razão entregue a si mesma à certeza da experiência ordenada (Koyré, 1981: 30). Ao contrário do que pensa Bacon, a experiência não dispensa a teoria prévia, o pensamento dedutivo ou mesmo a especulação, mas força qualquer deles a não dispensarem, enquanto instância de confirmação última, a observação empírica dos factos. Galileu só refuta as deduções de Aristóteles na medida em que as acha insustentáveis e é ainda Einstein quem nos chama a atenção para o facto de os métodos experimentais de Galileu serem tão imperfeitos que só por via de especulações ousadas poderia preencher as lacunas entre os dados empíricos (basta recordar que não havia medições de tempo inferiores ao segundo) (Einstein, 1970: xix). Descartes, por seu turno, vai inequivocamente das idéias para as coisas e não das coisas para as idéias e estabelece a prioridade da metafísica enquanto fundamento último da ciência.

As idéias que presidem à observação e à experimentação são as idéias claras e simples a partir das quais se pode ascender a um conhecimento mais profundo e rigoroso da natureza. Essas idéias são

* Para Bacon “a senda que conduz o homem ao poder e a que o conduz à ciência estão muito próximas, sendo quase a mesma” (1933: 110). Bacon também afirma que se o objectivo da ciência é dominar a natureza, não é menos verdade que “só podemos vencer a natureza obedecendo-lhe” (1933:6 *italico meu*), o que nem sempre tem sido devidamente salientado nas interpretações da teoria de Bacon sobre a ciência.

as idéias matemáticas. A matemática fornece à ciência moderna, não só o instrumento privilegiado de análise, como também a lógica da investigação, e ainda o modelo de representação da própria estrutura da matéria. Para Galileu, o livro da natureza está inscrito em caracteres geométricos* e Einstein não pensa de modo diferente†. Deste lugar central da matemática na ciência moderna derivam duas consequências principais. Em primeiro lugar, conhecer significa quantificar. O rigor científico afere-se pelo rigor das medições. As qualidades intrínsecas do objecto são, por assim dizer, desqualificadas e em seu lugar passam a imperar as quantidades em que eventualmente se podem traduzir. O que não é quantificável é cientificamente irrelevante. Em segundo lugar, o método científico assenta na redução da complexidade. O mundo é complicado e a mente humana não o pode compreender completamente. Conhecer significa dividir e classificar para depois poder determinar relações sistemáticas entre o que se separou. Já em Descartes uma das regras do *Método* consiste precisamente em “dividir cada uma das dificuldades... em tantas parcelas quanto for possível e requerido para melhor as resolver” (Descartes, 1984: 17). A divisão primordial é a que distingue entre “condições iniciais” e “leis da natureza”. As condições iniciais são o reino da complicação, do acidente e onde é necessário seleccionar as que estabelecem as condições relevantes dos factos a observar; as leis da natureza são o reino da simplicidade e da regularidade, onde é possível observar e medir com rigor. Esta distinção entre condições iniciais e leis da natureza nada tem de “natural”. Como bem observa Eugene Wigner, é mesmo completamente arbitrária (Wigner, 1970: 3). No entanto, é nela que assenta toda a ciência moderna.

A natureza teórica do conhecimento científico decorre dos pressupostos epistemológicos e das regras metodológicas já referidas. E um conhecimento causal que aspira à formulação de leis, à luz de regularidades observadas, com vista a prever o comportamento futuro dos fenómenos. A descoberta das leis da natureza assenta, por um lado, e como já se referiu, no isolamento das condições iniciais relevantes (por exemplo, no caso da queda dos corpos, a posição inicial e a velocidade do corpo em queda) e, por outro lado, no pressuposto de que o resultado se produzirá independentemente do lugar e do tempo em que se realizarem as condições iniciais. Por outras palavras, a descoberta das leis da natureza assenta no princípio de que a posição absoluta e o tempo absoluto nunca são condições iniciais relevantes. Este princípio é, segundo Wigner, o mais importante teorema da invariância na física clássica (Wigner, 1970: 226).

As leis, enquanto categorias de inteligibilidade, repousam num conceito de causalidade escolhido, não arbitrariamente, entre os oferecidos pela física aristotélica. Aristóteles distingue quatro tipos de causa: a causa material, a causa formal, a causa eficiente e a causa final. As leis da ciência moderna são um tipo de causa formal que privilegia o *como funciona* das coisas em detrimento de *qual o agente* ou *qual o fim* das coisas. É por esta via que o conhecimento científico rompe com o conhecimento do senso comum. E que enquanto no senso comum, e portanto no conhecimento prático em que ele se traduz, a causa e a intenção convivem sem problemas, na ciência, a determinação da causa formal obtém-se ignorando a intenção. É este tipo de causa formal que permite prever e, portanto, intervir no real e que, em última instância, permite à ciência moderna responder à pergunta sobre os fundamentos do seu rigor e da sua verdade com o elenco dos seus êxitos na manipulação e na transformação do real.

Um conhecimento baseado na formulação de leis tem como pressuposto metateórico a idéia de ordem e de estabilidade do mundo, a idéia de que o passado se repete no futuro. Segundo a mecânica newtoniana, o mundo da matéria é uma máquina cujas operações se podem determinar exactamente por meio de leis físicas e matemáticas, um mundo estático e eterno a flutuar num espaço vazio, um mundo que o racionalismo cartesiano torna cognoscível por via da sua decomposição nos elementos que o cons-

* Entre muitos outros passos do *Diálogo sobre os Grandes Sistemas do Mundo*, cfr. a seguinte fala de Salviati:

Se o termo “entendimento”, tomado na acepção de “intensivo”, significa a compreensão intensiva, isto é, perfeita, de uma dada proposição, direi então que o entendimento humano compreende algumas proposições tão perfeitamente e alcança uma certeza tão absoluta quanto a própria natureza. Tal é o caso, por exemplo, das proposições das ciências matemáticas puras, a saber, a geometria e a aritmética; o intelecto divino conhece um número infinitamente maior, dado que as conhece todas, mas, se o intelecto humano conhece poucas, julgo que o conhecimento que delas tem iguala, em certeza objectiva, o conhecimento divino, porque chega a compreender-lhes a necessidade, e esse é o mais alto grau de certeza (*Galileu Galilei, 1967: 110*).

† A admiração de Einstein por Galileu está bem patente no prefácio que escreveu para o *Diálogo* de Galileu. O modo radical como Einstein “vê” a natureza matemática da estrutura da matéria explica em parte a sua longa batalha sobre a interpretação da mecânica quântica (especialmente contra a interpretação de Copenhaga). A este propósito, ver Hoffmann (1973: 173 e ss.).

tituem. Esta idéia do mundo-máquina é de tal modo poderosa que vai transformar-se na grande hipótese universal da época moderna. Pode parecer surpreendente e até paradoxal que uma forma de conhecimento assente numa tal visão do mundo tenha vindo a constituir um dos pilares da idéia de progresso que ganha corpo no pensamento europeu a partir do século XVIII e que é o grande sinal intelectual da ascensão da burguesia*. Mas a verdade é que a ordem e a estabilidade do mundo são a pré-condição da transformação tecnológica do real. O determinismo mecanicista é o horizonte certo de uma forma de conhecimento que se pretende utilitário e funcional, reconhecido menos pela capacidade de compreender profundamente o real do que pela capacidade de o dominar e transformar. No plano social, é esse também o horizonte cognitivo mais adequado aos interesses da burguesia ascendente, que via na sociedade, em que começava a dominar, o estágio final da evolução da humanidade (o estado positivo de Comte; a sociedade industrial de Spencer; a solidariedade orgânica de Durkheim). Daí que o prestígio de Newton e das leis simples a que reduzia toda a complexidade da ordem cósmica tenham convertido a ciência moderna no modelo de racionalidade hegemônica que a pouco e pouco transbordou do estudo da natureza para o estudo da sociedade. Tal como foi possível descobrir as leis da natureza, seria igualmente possível descobrir as leis da sociedade.

Bacon, Vico e Montesquieu são os grandes precursores. Bacon afirma a plasticidade da natureza humana e, portanto, a sua perfectibilidade, dadas as condições sociais, jurídicas e políticas adequadas, condições que é possível determinar com rigor (Bacon, 1933). Vico sugere a existência de leis que governam deterministicamente a evolução das sociedades e tornam possível prever os resultados das ações coletivas. Com extraordinária premonição, Vico identifica e resolve a contradição entre a liberdade e a imprevisibilidade da ação humana individual e a determinação e previsibilidade da ação coletiva (Vico, 1953). Montesquieu pode ser considerado um precursor da sociologia do direito ao estabelecer a relação entre as leis do sistema jurídico, feitas pelo homem, e as leis inescapáveis da natureza (Montesquieu, 1950).

No século XVIII, este espírito precursor é ampliado e aprofundado, e o fermento intelectual que daí resulta, as Luzes, vai criar as condições para a emergência das ciências sociais no século XIX. A consciência filosófica da ciência moderna, que tivera no racionalismo cartesiano e no empirismo baconiano as suas primeiras formulações, veio a condensar-se no positivismo oitocentista. Dado que, segundo este, só há duas formas de conhecimento científico — as disciplinas formais da lógica e da matemática e as ciências empíricas segundo o modelo mecanicista das ciências naturais — as ciências sociais nasceram para ser empíricas. O modo como o modelo mecanicista foi assumido teve, no entanto, algumas variantes. Distingo duas vertentes principais: a primeira, sem dúvida dominante, consistiu em aplicar, na medida do possível, ao estudo da sociedade, todos os princípios epistemológicos e metodológicos que dominavam o estudo da natureza desde o século XVI; a segunda, durante muito tempo marginal mas hoje cada vez mais seguida, consistiu em reivindicar para as ciências sociais um estatuto epistemológico e metodológico próprio, com base na especificidade do ser humano e na sua distinção radical em relação à natureza. Estas duas concepções têm sido consideradas antagônicas, a primeira sujeita ao jugo positivista, a segunda liberta dele, e ambas reivindicando o monopólio do conhecimento científico-social. Apresentarei adiante uma interpretação diferente, mas para já caracterizarei sucintamente cada uma destas variantes.

A primeira variante — cujo compromisso epistemológico está bem simbolizado no nome de “física social” com que inicialmente se designaram os estudos científicos da sociedade — parte do pressuposto de que as ciências naturais são uma aplicação ou concretização de um modelo de conhecimento universalmente válido e, de resto, o único válido. Portanto, por maiores que sejam as diferenças entre os fenômenos naturais e os fenômenos sociais, é sempre possível estudar os últimos como se fossem os primeiros. Reconhece-se que essas diferenças actuam contra os fenômenos sociais, ou seja, tornam mais difícil o cumprimento do cânone metodológico e menos rigoroso o conhecimento a que se chega, mas não há diferenças qualitativas entre o processo científico neste domínio e o que preside ao estudo dos fenômenos naturais. Para estudar os fenômenos sociais como se fossem fenômenos naturais, ou seja, para conceber os factos sociais como coisas, como pretendia Durkheim, o fundador da sociologia acadêmica, é necessário reduzir os factos sociais às suas dimensões externas, observáveis e mensuráveis (1980). Assim,

* Ver, entre muitos, Pollard (1971: 39).

por exemplo, as causas do aumento da taxa de suicídio, na Europa do virar do século, não são procuradas nos motivos invocados pelos suicidas e deixados em cartas, como é costume, mas antes a partir da verificação de regularidades em função de condições tais como o sexo, o estado civil, a existência ou não de filhos, a religião dos suicidas (Durkheim, 1973).

Porque essa redução nem sempre é fácil e nem sempre se consegue sem distorcer grosseiramente os factos ou sem os reduzir à quase irrelevância, as ciências sociais, segundo esta primeira variante, têm um longo caminho a percorrer no sentido de se compatibilizarem com os critérios de cientificidade das ciências naturais. Os obstáculos são enormes, mas não são insuperáveis. Ernest Nagel, em *A Estrutura da Ciência*, simboliza bem o esforço desenvolvido nesta variante para identificar os obstáculos e apontar as vias da sua superação. Eis alguns dos principais obstáculos: as ciências sociais não dispõem de teorias explicativas que lhes permitam abstrair do real para depois buscar nele, de modo metodologicamente controlado, a prova adequada; as ciências sociais não podem estabelecer leis universais porque os fenómenos sociais são historicamente condicionados e culturalmente determinados; as ciências sociais não podem produzir previsões fiáveis porque os seres humanos modificam o seu comportamento em função do conhecimento que sobre ele se adquire; os fenómenos sociais são de natureza subjectiva e, como tal, não se deixam captar pela objectividade do comportamento; as ciências sociais não são objectivas porque o cientista social não pode libertar-se, no acto de observação, dos valores que informam a sua prática em geral e, portanto, também a sua prática de cientista (Nagel, 1961: 447 e ss.).

Em relação a cada um destes obstáculos, Nagel tenta demonstrar que a oposição entre as ciências sociais e as ciências naturais não é tão linear quanto se julga e que, na medida em que há diferenças, elas são superáveis ou negligenciáveis. Reconhece, no entanto, que a superação dos obstáculos nem sempre é fácil e que essa é a razão principal do atraso das ciências sociais em relação às ciências naturais. A ideia do atraso das ciências sociais é a ideia central da argumentação metodológica nesta variante, e, com ela, a ideia de que esse atraso, com tempo e dinheiro, poderá vir a ser reduzido ou mesmo eliminado.

Na teoria das revoluções científicas de Thomas Kuhn o atraso das ciências sociais é dado pelo carácter pré-paradigmático destas ciências, ao contrário das ciências naturais, essas sim, paradigmáticas. Enquanto, nas ciências naturais, o desenvolvimento do conhecimento tornou possível a formulação de um conjunto de princípios e de teorias sobre a estrutura da matéria que são aceites sem discussão por toda a comunidade científica, conjunto que Kuhn designa por paradigma, nas ciências sociais não há consenso paradigmático, pelo que o debate tende a atravessar verticalmente todo o conhecimento adquirido. O esforço e o desperdício que isso acarreta é simultaneamente causa e efeito do atraso das ciências sociais.

A segunda vertente reivindica para as ciências sociais um estatuto metodológico próprio. Os obstáculos que há pouco enunciei são, segundo esta vertente, intransponíveis. Para alguns, é a própria ideia de ciência da sociedade que está em causa, para outros trata-se tão-só de empreender uma ciência diferente. O argumento fundamental é que a acção humana é radicalmente subjectiva. O comportamento humano, ao contrário dos fenómenos naturais, não pode ser descrito e muito menos explicado com base nas suas características exteriores e objectiváveis, uma vez que o mesmo acto externo pode corresponder a sentidos de acção muito diferentes. A ciência social será sempre uma ciência subjectiva e não objectiva como as ciências naturais; tem de compreender os fenómenos sociais a partir das atitudes mentais e do sentido que os agentes conferem às suas acções, para o que é necessário utilizar métodos de investigação e mesmo critérios epistemológicos diferentes dos correntes nas ciências naturais, métodos qualitativos em vez de quantitativos, com vista à obtenção de um conhecimento intersubjectivo, descritivo e compreensivo, em vez de um conhecimento objectivo, explicativo e nomotético.

Esta concepção de ciência social reconhece-se numa postura antipositivista. A sua tradição filosófica é a fenomenologia em diferentes variantes, desde as mais moderadas (como a de Max Weber, 1968) até as mais extremistas (como a de Peter Winch, 1970). Contudo, numa reflexão mais aprofundada, esta concepção, tal como tem vindo a ser elaborada, revela-se mais subsidiária do modelo de racionalidade das ciências naturais do que parece. Partilha com este modelo a distinção natureza/ser humano e, tal como ele, tem da natureza uma visão mecanicista à qual contrapõe, com evidência esperada, a especificidade do ser humano. A esta distinção, primordial na revolução científica do século XVI, vão sobrepor-se nos

séculos seguintes outras, tais como a distinção natureza/cultura e a distinção ser humano/animal, para no século XVIII se poder celebrar o carácter único do ser humano. A fronteira que então se estabelece entre o estudo do ser humano e o estudo da natureza não deixa de ser prisioneira do reconhecimento da prioridade cognitiva das ciências naturais, pois se, por um lado, se recusam as condicionantes biológicas do comportamento humano, pelo outro usam-se argumentos biológicos para fixar a especificidade do ser humano.

Pode, pois, concluir-se que ambas as concepções de ciência social a que aludi pertencem ao paradigma da ciência moderna, ainda que a concepção mencionada em segundo lugar represente, dentro deste paradigma, um sinal de crise e contenha alguns dos componentes da transição para um outro paradigma científico.

ENGENHARIA DE SISTEMAS COMPLEXOS PARA O SÉCULO XXI

Sérgio Mascarenhas e Hamilton Varela

Jornal da Ciência - E-mail, 17 de novembro de 2011

Em 2010, comemorou-se 40 anos da criação da Engenharia de Materiais na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), a primeira no Brasil e na América Latina. Com plena empregabilidade, inserção nacional e internacional, o curso já formou cerca de 2 mil engenheiros e mais de 1,5 mil mestres e doutores, além de induzir a criação de mais de uma dezena de programas semelhantes no País e no exterior. Considerando a experiência de um de nós (SM) como responsável pela proposta e coordenado a implantação do curso, além da ocasião das comemorações, propomos uma nova tipo de engenharia para o século XXI: a Engenharia de Sistemas Complexos.

Sistemas complexos poderiam ser definidos como compostos por várias partes independentes que interagem entre si e com o meio, que podem evoluir por diversos caminhos e que são bastante sensíveis às condições iniciais ou a pequenas perturbações. Uma vez que lidar com temas complicados é parte do dia-a-dia das várias engenharias, é legítimo perguntar qual necessidade de uma Engenharia de Sistemas Complexos. Em outras palavras, o que faz então um sistema complexo especial em relação a um, digamos, complicado? O ponto central nesse caso é a presença das propriedades que emergem da interação entre as diferentes partes que compõem o sistema. Cada vez mais, as propriedades emergentes têm se tornado parte do nosso cotidiano, como nos exemplos da rede mundial de computadores e no gerenciamento da geração e distribuição de energia, principalmente oriunda de fontes renováveis.

Como exemplo específico, pode-se tomar o caso de um avião, com suas centenas de milhares de peças, que poderia ser tratado como algo complicado, cuja montagem não é trivial. No entanto, uma vez construído, não há nenhuma propriedade emergente e o avião, caso tenha sido construído de forma correta, fará o esperado: voar. Os aspectos complexos surgem a partir da interação do homem com o avião, como no caso do controle do tráfego aéreo ou na tomada de decisão em casos de urgência. A área de sistemas complexos tem uma tradição relativamente longa em física e química, o papel de uma Engenharia devotada ao tema está na aplicação destes conceitos em problemas práticos da sociedade. Fatores como o ambiente maduro e de excelência na maioria das engenharias e a presença de grupos de padrão internacional nas áreas correlatas nas ciências básicas de física e química, colocam o Brasil numa situação privilegiada para assumir uma posição de vanguarda na área de Engenharia de Sistemas Complexos.

Sérgio Mascarenhas, físico, é coordenador de projetos do Instituto de Estudos Avançados da USP em São Carlos. Foi professor e pesquisador em diversas universidades no país e no exterior, entre elas Harvard, Princeton e MIT. sm@usp.br. Hamilton Varela é doutor em Química pela Universidade Livre de Berlim. Professor da USP e Manager Scientist do Ertl Center na Coreia do Sul. varela@iqsc.usp.br.

MAIS UMA VEZ, SERGIO MASCARENHAS TEM RAZÃO

Constantino Tsallis

Jornal da Ciência - E-mail, 5 de setembro de 2011

Artigo de Constantino Tsallis, enviado ao JC Email, no qual comenta entrevista de Sergio Mascarenhas à Agência Fapesp na sexta-feira (2/9).

Na sua entrevista de 2 de setembro ao [Boletim Fapesp](#), Sergio Mascarenhas focaliza os sistemas complexos ou equivalentemente o fenômeno da complexidade. Ele faz, mais precisamente, a distinção entre a ciência dos sistemas complexos e a ciência de suas consequências práticas.

O estudo dos fundamentos da complexidade é, além de fascinante, necessário quando o que se deseja é a compreensão profunda dos fenômenos envolvidos, suas causas, suas consequências. Necessário, sim, mas não suficiente quando o que se deseja é atingir a sociedade como um todo, e não somente sua atávica procura de universalidade, de satisfação de sua curiosidade - o Homo sapiens é sapiens porque é curioso, o mais curioso dos animais! Se não é suficiente, de que mais precisa?

Exatamente aquilo do qual fala Sergio Mascarenhas, isto é, a ponte que conecta esses conhecimentos às suas aplicações. A ciência é necessária à engenharia, mas não é suficiente. O tipo de saber envolvido nas ciências é primo irmão do saber envolvido nas suas aplicações, mas é certamente diferente. Como disse muitos anos atrás o notável físico Anatole Abragam, em sessão inaugural do Institut de France, na presença do Presidente Valéry Giscard d'Estaing e seus ministros, o cientista aplicado é aquele que, se a coisa funciona, não lhe interessa primordialmente porquê, enquanto que o cientista puro, se ele sabe porquê, não lhe interessa primordialmente como, mesmo se não funciona. No rio do saber humano, o cientista puro - o físico, o químico, o biólogo, o astrônomo, o linguista - procura as fontes, de onde a água vem, enquanto o cientista aplicado - o engenheiro, o médico - olha para onde as águas vão. É a simbiose de ambos os saberes que tem propulsado a humanidade ao longo da sua história, para o melhor e para o pior.

Muitas décadas atrás, Sergio Mascarenhas criou, na qualidade de reitor, a Engenharia de Materiais na Universidade Federal de São Carlos. Esta disciplina se beneficiou enormemente do gabarito de muitos cientistas dos materiais provenientes da USP de São Carlos, ali ao lado, e da Unicamp de Campinas. Mas seu conteúdo foi, como não poderia deixar de ser, diferente do da ciência dos materiais. A atual proposta de Sergio Mascarenhas de incentivar, de criar no Brasil, cursos de Engenharia de Sistemas Complexos, corre em via totalmente paralela, e, se implementada, não tenho dúvidas de que terá também um grande sucesso, como de fato acontece hoje com as Engenharias de Materiais. A comparação é muito eloquente, e é a que percorre o mundo desenvolvido de hoje, levando os conhecimentos das nanociências para as nanotecnologias, e destas para os celulares, para a internet, para a medicina a cada dia menos invasiva, para somente citar alguns exemplos conhecidos de todos.

E o que seria mais exatamente esta Engenharia de Sistemas Complexos? Ela deve consistir no domínio das características práticas dos sistemas complexos - feitos de muitos elementos relativamente simples interconectados em geometrias frequentemente hierárquicas, fractais, irregulares. O comportamento coletivo de tais sistemas, suas estruturas e dinâmicas sofisticadas, originam-se em elementos que interagem através de dinâmicas de grande simplicidade. É na interminável repetição, nos grandes números, que nascem os fenômenos macroscópicos que o homem observa e nos quais está imerso. É isto que ocorre nas complexas dinâmicas ecológicas, nos desastres naturais, como tsunamis, terremotos, furacões, na complexa evolução de nosso meio ambiente, nas profundas modificações que o homem - querendo ou sem querer - vai provocando na fauna e na flora, na agricultura. É assim também no plasma do vento solar, intensamente estudado pela NASA, ESA, e outros organismos internacionais, acompanha-

dos pelas Nações Unidas.

É isto que ocorre na evolução das línguas e das culturas, e dos mercados, na camada de ozônio, nos surtos epidêmicos da doença de Chagas, do dengue, da tuberculose. É isto que ocorre nas turbulências da nossa atmosfera, e na das galáxias, e das multidões, e da fusão nuclear no tokamak, que talvez venha a representar uma das mais importantes fontes de energia para uso humano para nossos filhos, nossos netos. É talvez isto que ocorra nas profundezas das sopas de quarks e glúons que se formam após as formidáveis colisões entre prótons, e outras partículas elementares, que são provocadas no poderoso LHC em Genebra, ou em Brookhaven, nos Estados Unidos, ou nos fluxos de raios cósmicos, observados pelo observatório Auger. Todas essas manifestações da natureza, dos sistemas artificiais e dos sistemas sociais têm surpreendentes elementos em comum. É isto que estuda a ciência dos sistemas complexos - razão de ser do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Sistemas Complexos, criado três anos atrás e congregando atividades de 36 cientistas de 18 instituições do Brasil.

E qual é o foco proposto para uma Engenharia de Sistemas Complexos? As aplicações práticas desses conceitos no processamento de sinais (eletrocardiogramas, eletroencefalogramas, temperaturas de El Niño, perfis ao longo dos acessos a reservatórios de petróleo), no processamento de imagens (de mamografias, de tomografia computadorizada, de visão noturna, das placas - ocasionalmente sujas, ou enferrujadas - dos carros que atravessam sinais em vermelho ou que viajam a velocidades proibidas), da classificação automática de centenas e milhares de células normais ou cancerosas. As aplicações práticas para a otimização das rápidas e numerosíssimas operações financeiras do mundo de hoje, dos algoritmos computacionais que regulam procedimentos de praxe nas indústrias química e farmacêutica, do tráfego de sinais na internet e outras redes computacionais, e no de carros e motocicletas nas grandes cidades. A lista é simplesmente interminável.

Mais uma vez, como quando patrocinou a criação da Engenharia de Materiais em São Carlos e o Departamento de Física de Recife, ou quando, durante um seminário na UnB, 35 anos atrás, disse: "Nos países subdesenvolvidos, temos que estar sempre atentos, pois até quando a gente tem razão, dizem que a gente está errada", Sergio Mascarenhas está coberto de razão.

O físico Constantino Tsallis é pesquisador do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF).

