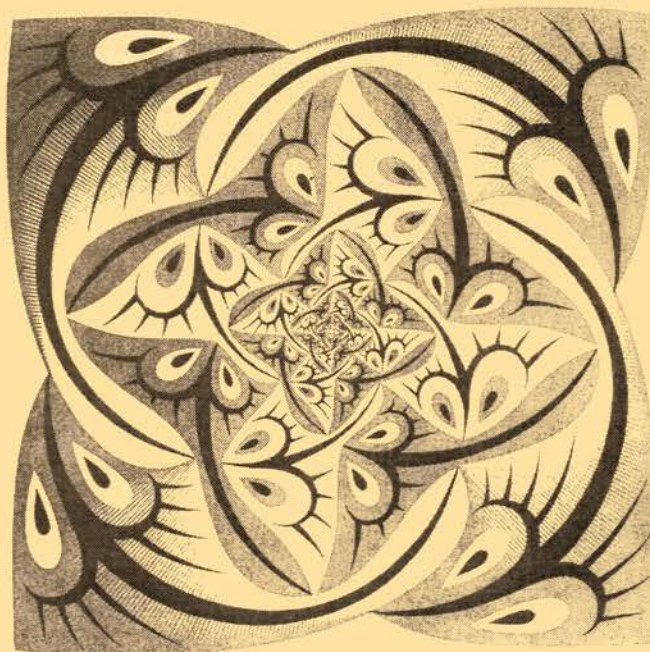




INSTITUTO DE FÍSICA
"GLEB WATAGHIN"

ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE COMPLEXIDADE, AUTO-ORGANIZAÇÃO E INFORMAÇÃO

Roberto Luzzi e Áurea R. Vasconcellos
Departamento de Física do Estado Sólido e Ciência de Materiais



M. C. Escher : Levensweg II - Path of life II - Lebensweg II - Chemin de la vie II

INSTITUTO DE FÍSICA "GLEB WATAGHIN"
Unicamp, Campinas, São Paulo, Brasil, 1999

18

notas de física ifgw

1999

ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE COMPLEXIDADE, AUTO- ORGANIZAÇÃO E INFORMAÇÃO

Roberto Luzzi e Áurea Rosas Vasconcellos
Instituto de Física "Gleb Wataghin", Unicamp
13083-970 Campinas, São Paulo, Brasil.

A Michel Debrun in memoriam.

Neste volume da Coleção Notas de Física IFGW, apresentamos, como o título indica, algumas considerações sobre Complexidade, Auto-organização, e Informação. Estes são tópicos de um Seminário Interdisciplinar desenvolvidos no Centro de Lógica e Epistemologia da Unicamp. Este fórum foi criado pelo Prof. Michel Debrun, quem faleceu no início de 1997, e a quem esta contribuição esta dedicada. Basicamente, a organização desta Monografia consiste numa coletânea — muito reduzida e um pouco arbitrariamente escolhida por nós — de alguns artigos de diversos autores, apresentados nos Apêndices aos Capítulos, onde nestes últimos fazemos, após uma Introdução, comentários sobre os três tópicos envolvidos e sua conexão.

*"... la realidad no tiene la menor obligación
de ser interesante, Yo le replicaré que la
realidad puede prescindir de esa obligación
pero no las hipótesis."*

Jorge Luis Borges (1899-1986)
Ficciones (Emecé, Buenos Aires, 1969)

NOTA BENE: Por razões legais sobre "copyright" não foram reproduzidos os artigos e capítulos como indicado acima. Assim nos Apêndices só foi incluído o "Abstract" ou a capa do livro. Há com os autores uma cópia completa.

PROLEGÔMENOS

Lo esencial del hombre es no tener más remedio que esforzarse en conocer, en hacer ciencia, mejor o peor, en resolver el problema de su propio ser y para ello el problema de lo que son las cosas entre las cuales inexorablemente tiene que ser.

José Ortega y Gasset (1883-1959)

Esquema de las Crisis

(Revista de Occidente, Madrid, 1956)

I do not demand that a theory correspond to reality because I do not know what it is [...] All I am concerned with is that the theory should predict the results of measurement.

Stephen Hawking

The Nature of Space and Time

(Princeton Univ. Press, Princeton, 1996)

PROLEGÔMENO

O que temos que aprender, o aprendemos pela ação.

Aristóteles (ca 384-322 a.C.)

Ethica Nichomachea II

Recentemente tivemos a lamentar o falecimento do filósofo político e Professor Emérito da Unicamp, Michel Debrun. Junto ao centro de Lógica e Epistemologia de nossa Universidade, Michel idealizou e coordenou um relevante grupo de trabalhos de caráter altamente interdisciplinar, com participação de pesquisadores de diversas áreas, não somente da Unicamp mas de outras Instituições irmãs (USP, UNESP, UFG, UFMG). Os estudos nesse fórum se tem centrado especialmente na questão de auto-organização em sistemas dinâmicos e teoria da informação, e sua conexão com o emergente paradigma da complexidade.

Aqui apresentamos uma contribuição ao tema em homenagem ao Michel. Assim iniciamos esta pequena e simples Monografia com este Prolegômeno no qual apresentamos mais adiante a reprodução do Prefácio que Michel escreveu para o livro *Auto-Organização: Estudos Interdisciplinares* (Michel Debrun, M. Eunice Gonzales, e Osvaldo Pessoa, Eds. , Coleção CLE, Vol. 18, Centro de Lógica e Epistemologia, Unicamp, Campinas, São Paulo, Brasil, 1996).

O texto desta Monografia se organiza em termos de uma Introdução geral, seguida de Capítulos sobre Complexidade, Auto-Organização, e Informação. Para sermos mais precisos cada Capítulo contém alguns curtos comentários gerais antecedendo uma coletânea (arbitrária e largamente incompleta) reproduzindo diversos artigos (de vários autores e fontes)

referentes a cada um dos três temas acima referidos (e remetidos para os Apêndices)

Inicialmente reproduziremos as considerações de Michel Debrun sobre Auto-Organização, porém antes, e como palavras finais nossas neste Prolegômeno, reiteramos que os temas aqui tratados não formam o núcleo dos interesses do nosso Grupo “Mecânica Estatística de Sistemas Dissipativos”, porém, claro, tem ligação no que se refere ao uso de poderosos métodos estatísticos da teoria dos muitos corpos com interação, ao estudo de comportamento complexo em tais sistemas (resultado de estarem governados por uma teoria cinética não-linear), à emergência de estruturas auto-organizadas (no sentido das estruturas dissipativas sinérgicas *à la* Prigogine), e informação da Mecânica e Termodinâmica Estatísticas via o enfoque de inferência científica proposto por Jeffreys-Jaynes, no contexto da assim chamada Mecânica Estatística Predictiva (onde introduzimos o neologismo – anglicismo – predictiva, no sentido de feita na base de predições a partir da informação disponível).

Para finalizar, agradecemos a valiosa colaboração dos membros do Grupo (que passaram ou estão atualmente nele ; pesquisadores, pós-doutores, estudantes — mais de cinquenta pessoas ao longo de um pouco mais de um quarto de século, em especial ao Professor José Galvão Ramos que vem desenvolvendo um muito valioso trabalho na área de termo-hidrodinâmica não-clássica, com conexões com turbulência (caos) e auto-organização. Também agradecemos a colaboração e utilíssimas discussões com Grupos no exterior com os quais mantemos projetos conjuntos de pesquisa e de ensino dos estudantes de pós-graduação aqui e nas respectivas Instituições; mencionamos especialmente os Professores José Casas-Vázquez e David Jou na Universidade Autônoma de Barcelona (membros da assim denominada Escola Catalã de

Termodinâmica), o Prof. Leopoldo García-Colin da Universidade Autônoma de México (fundador da assim chamada Escola Mexicana de Termodinâmica), o Prof. Georgy Lebon da Universidade de Liège e de Louvain. (Em razão do indicado entre parêntesis acima, costumamos brincar que o nosso Grupo constitui a 'Escola Paulista de Termodinâmica' !). Agradecemos ao pessoal de apoio do IFGW-Unicamp, em especial as simpáticas e sempre bem dispostas secretárias do Departamento e da Diretoria, à simpática bibliotecária chefe e aos funcionários da Biblioteca, assim como aos funcionários da Seção Gráfica. Agradecemos também, pelos auxílios financeiros proporcionados ao nosso Grupo ao longo de sua existência, pelas Instituições Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), o Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia (CNPq), o Ministério da Educação (CAPES), o Ministério do Planejamento (Finesp), a Fundação Unicamp (FAEP), a IBM-Brasil, a Fundació Catalá per a la Reserca (Catalunya, Espanha), a National Science Foundation (NSF, Washington, USA), a John Simon Guggenheim Memorial Foundation (New York, USA).

Como antecipado, após estes agradecimentos segue a reprodução das considerações de Michel Debrun sobre auto-organização.

Prefácio

Por que, quando e como é possível falar em auto-organização?

O postulado que orienta os trabalhos desta coletânea pode ser assim sintetizado: certas organizações podem emergir, se desenvolver ou se reestruturar essencialmente a partir delas próprias. Não por geração espontânea ou "arrancando-se" do vácuo. Mas a partir do que elas já começam a ser, embora não em decorrência mecânica desse primeiro patamar. Idéia difícil a circunscrever e que se presta a múltiplas interpretações. Daí – possivelmente – o atraso, senão dos estudos de auto-organização – muitos deles profundos e criativos –, mas da produção de resultados mensuráveis segundo critérios "objetivos". Atraso em relação, sobretudo, aos progressos da Inteligência Artificial. As duas áreas tiveram início no fim da década de 40, a partir de um tronco comum, a Cibernética nascente, e pensamos que a leitura da coletânea, ao revelar a complexidade do objeto "auto-organização", permitirá entender o porquê da defasagem que se verificou entre elas, em termos de êxito imediato.

Desde o início dos anos 80 esse atraso começa a ser recuperado, no tocante em particular à formação e à reestruturação, sem supervisor, das conexões internas das redes neurais. Mas permanece aos olhos de muitos uma dúvida básica: será mesmo que existe algo como "auto-organização"? Isto é, algo que não seja enquadrável em nenhuma das modalidades correntes de explicação, que são quase todas "hetero-explicativas": explica-se, em geral, uma coisa por outra. Dizer que uma coisa "se" auto-organiza é admitir, ao contrário, que o surgimento ou a transformação dessa coisa, em vez de ser função da combinação de um estado anterior dela com um *input* externo, depende unicamente (ou essencialmente) do primeiro fator. Ora, isso é transformar a função em variável dela mesma. Hipótese absurda, segundo W.R. ASHBY. Nessas condições, parece que a expressão "auto-organização" não passa de um modismo pseudo-científico, destinado a rebatizar fenômenos já corretamente descritos e explicados sob outras denominações. Temos que

reconhecer que, em vários casos, é de fato o que ocorre, em particular nas áreas de ciências exatas: o rótulo "auto-organização", às vezes, não acrescenta nada efetivo.

Insistamos, porém. Há um sem número de "formas" que resistem, em grau maior ou menor, aos esquemas explicativos tradicionais. Um parêntese: preferimos o termo "forma" a "organização", por ser talvez mais abrangente na linguagem comum. "Organização" evoca logo uma instituição ou uma empresa, mais raramente um organismo vivo ou um artefato. Nunca certas situações sociais, políticas, esportivas etc. que todavia compartilham com as organizações, no sentido restrito, um aspecto fundamental: caracterizam-se por um "ajuste" (mais do que um "equilíbrio de forças") entre os elementos que as compõem, verificando-se entre elas relações de interdependência, dependência, simples justaposição (tipo "colagem") estáveis. Por exemplo, num jogo de futebol acontecem às vezes situações em que se estabelece duravelmente (isto é, até o fim do jogo) quer a liderança incontestada de um dos times quer um marasmo generalizado – sem que a relação "energética" das forças que se defrontam imponha mecanicamente um ou outro desfecho. Parece que há uma "aceitação" de todos, mesmo que não haja conchavo nem clara consciência do que está ocorrendo. Seria isso um ajuste organizatório. Ou a "forma".

Ora, parece que tais formas não são sempre explicáveis, ou integralmente, em termos tradicionais. O exemplo que acabamos de apresentar talvez seja um desses casos. Senão vejamos:

a) O ajuste não foi planejado de cima para baixo por um engenheiro, ou, de modo geral, realizado por uma finalidade consciente ou inconsciente que lhe seria exterior.

b) À diferença do desenvolvimento de um organismo biológico, determinado essencialmente pela hereditariedade, o ajuste se fez "aqui e agora".

c) Dificilmente pode ser visto como o término da evolução de um sistema dinâmico comum, quer este término seja um ponto fixo, um ciclo limite ou um caos determinístico. No sistema dinâmico, a evolução toda é "contida" de antemão nas condições iniciais (elementos, parâmetros, variáveis). Não há ajuste, já que os elementos são pré-ajustados.

d) Talvez ele seja o resultado do livre jogo das leis da natureza e dos acasos que surgem na encruzilhada de múltiplas seqüências determinísticas. Mas a possibilidade disso acontecer é cada vez menor, à medida que cresce a complexidade da forma que se trata de explicar. Ora, um "ajuste" entre inúmeros elementos (jogadores, torcidas etc.) parece uma coisa muito complexa. Mais ainda: mesmo que tal ajuste se desse uma vez em virtude de uma mistura cega de determinismos e acasos, a reprodução banal de uma situação análoga seria impensável. Mas é justamente o que ocorre: ajustes do tipo que evocamos (acomodação dos dois times de futebol a uma situação de liderança incontestada de um deles, ou marasmo generalizado) não são eventos excepcionais. Certo, eles não são *repetíveis*. Ou seja, eles não obedecem a uma "lei de construção" – empírica ou formal – que permitiria reproduzi-los a uma infinidade de exemplos. Se fosse assim, aliás, nem se poderia pensar em "auto-organização"; haveria hetero-organização, programa, algoritmo etc. Mas, pelo menos, são mais ou menos *repetidos* de fato.

e) Finalmente alguns verão no ajuste a expressão de uma dialética de assimilação e acomodação entre um sujeito (individual ou coletivo) e seu ambiente – cada time de futebol sendo "ambiente" para o outro. Seria uma solução "à la PIAGET". Más, se for o caso, podemos indagar: não será que já estamos lidando com auto-organização? Ou algo muito próximo, da mesma família que ela? Transfiramos para frente a discussão desse ponto. O certo é que não pode se tratar de hetero-explicação.

Concluamos que é muito plausível haver fenômenos de auto-organização – atos ou processos, ainda não sabemos – já que certas formas (seres ou situações) parecem precisar de uma explicação em termos de auto-organização, face à insuficiência, ou ao caráter dúbio, das hetero-explicações.

* * *

Não se trata nesta Introdução de propor uma definição precisa e "técnica" do que seja auto-organização. Basta a definição "sinalética" apresentada de início. A tarefa de dar uma ou várias definições efetivas – mas que podem ficar implícitas no corpo dos trabalhos – está entregue aos

autores que colaboram nesta coletânea. Gostaria apenas de apontar alguns temas e traços que parecem circunscrever a problemática da auto-organização.

Diremos que quatro "núcleos" dominam. Explicitados ou não, eles orientam, com dosagens diversas e enfoques específicos, uma ampla variedade de trabalhos desta coletânea.

Primeiro, encontramos a idéia de impulso inicial. Esse impulso pode ser às vezes entendido no sentido de PRIGOGINE & STENGERS em *A Nova Aliança*. Num sistema longe do equilíbrio ou, acrescentaríamos, em vias de decomposição (pensamos em sistemas sociais, econômicos, políticos), multiplicam-se as flutuações. Essas flutuações podem ficar pequenas e, assim, neutralizam-se reciprocamente. Isso quer dizer que o sistema, ou uma das suas partes, esboça tentativas de estruturação ou reestruturação, mas que não têm fôlego. Pode ser, todavia, que por acaso – embora, eventualmente, de modo determinístico – surja uma flutuação um pouco maior do que as outras. Essa flutuação, conquanto esteja "apoiada" por outros fatores disponíveis ao redor (não cabe entrar aqui na discussão desse ponto importante), poderá, em certos casos, se constituir no ponto inaugural de um novo desenvolvimento. Pensamos evidentemente na audácia e no espírito de decisão de Lenin e Trotski durante a Revolução de Outubro de 1917 na Rússia. De qualquer modo, o importante é salientar que não lidamos com uma evolução "estrutural": a flutuação um pouco maior do que as outras pode ser vista como algo intermediário entre o caos e a ordem. Uma idéia semelhante aparece em autores como STUART KAUFFMAN, quando evoca determinados períodos de aceleração, ou mesmo "explosão", da evolução da vida: teria havido uma situação mista, entre ordem e caos. Da ordem, quando inflexível, nada de novo pode emergir. O caos é rico de sugestões, mas que são débeis e, correndo em todos os sentidos, se neutralizam.

O impulso inicial pode ser também uma decisão, por exemplo em relação a quem a toma e tenta assim uma auto-reorganização ("a partir de hoje vou reformular de ponta a ponta minha vida"). Em todos os casos o impulso inicial desempenha um duplo papel. De um lado, ele constitui um corte, maior ou menor, em relação ao passado e ao contexto. De outro lado, ele aponta para o futuro, fornecendo uma orientação que não será

dominação de certos elementos sobre os demais. SARTRE bem mostrou isso, na *Crítica da Razão Dialética*, no concernente à auto-organização coletiva (humana), em particular quando estão envolvidos grupos humanos amplos.

Podemos generalizar essas considerações e estendê-las à área "categorial". Ou seja, às noções como "acaso", "determinismo", "finalidade", "condições de partida", "sujeito", "matéria", "energia", "informação" etc. (conforme os contextos, alguns desses termos podem também corresponder a elementos). Se, num processo organizatório, ou na explicação desse processo, entra qualquer uma dessas categorias (ou pequeno grupo de categorias, por exemplo a mistura de determinismos + acasos cegos no caso das explicações darwinianas da evolução das espécies), estamos por definição face a uma hetero-organização e/ou a uma hetero-explicação dessa organização. Mesmo, e sobretudo, quando o paradigma da auto-organização é concebido como a operação que um sujeito, visto como onipotente, exerceria sobre ele próprio, no sentido de se reprogramar de ponta a ponta. Porque, se isso fosse possível (isto é, mesmo que pudéssemos afastar as objeções lógicas ou factuais a um tal "programa"), o sujeito se tornaria em relação a ele próprio um sujeito "transcendental" face a um ego "empírico" que ele organizaria de cima para baixo. Este último, por sua vez, não seria "ele", mas um "outro", um puro objeto. A onipotência do sujeito organizador ou re-organizador redundaria numa perfeita hetero-organização.

Isso nos leva a um terceiro núcleo temático: a natureza do processo auto-organizador, tomado em conjunto. Destaquemos quatro aspectos:

a) A auto-organização é um processo que demanda tempo. À diferença por exemplo da autopoiese, ato indivisível (senão analiticamente) que consiste numa definição ou declaração geradora do seu próprio referente: "eu prometo" – o ato declaratório gera o fazer, a promessa correspondente.

b) Esse processo consiste numa interação, a partir de um "ponto de amarração", entre elementos realmente distintos ou semi-distintos (como mente e corpo, parcialmente "acavalados" dentro do invólucro do

necessariamente seguida adiante, mas que todavia define um perfil à medida que eventuais tentativas de reestruturação terão de se medir com ela. Nesses dois papéis podemos dizer que o impulso inicial assegura o aspecto "auto" da auto-organização. É o que chamaríamos um "ponto de amarração".

Um segundo núcleo é constituído pela temática da "multiplicidade ao mesmo tempo real e igualitária". Explico: na base de qualquer processo de auto-organização existe uma multiplicidade de elementos dotados de duas características. De um lado, esses elementos – que devem ficar majoritários – não são redundantes entre si, ou são pouco redundantes, sob qualquer ângulo que entendamos a idéia de redundância: as afinidades atuais ou potenciais entre eles, as relações de causa e efeito ou de princípio e consequência, ou mesmo as oposições estruturais que mantêm entre si (a de dois fonemas, por exemplo, ligados por uma oposição/correlação) – tudo isso deve ser reduzido a um mínimo. Entende-se a razão dessas cláusulas restritivas: se há uma conexão necessária entre dois elementos, mesmo que por enquanto essa conexão não esteja ativada, e se, no início de um processo de auto-organização, predominarem de modo esmagador relações deste tipo, o resultado será mais ou menos predeterminado e o processo não terá tido um caráter autenticamente "auto". Acresce que a própria noção de "ajuste", evocada acima, supõe por definição elementos realmente distintos (e não apenas analiticamente), quer se trate de auto ou hetero-organização (isto é, de organizações planejadas e implantadas por outrem): há de reunir, de uma outra maneira, elementos original ou potencialmente separados.

Mas, de outro lado, deve reinar certa "igualdade de forças" – seja qual for a maneira específica de entender a noção de força conforme as áreas de auto-organização – entre os elementos que vão entrar em interação. Ou que já estão num estado de "pré-interação", como as partes "semi-distintas" do organismo vivo – digamos, para simplificar, mente e corpo, no caso do organismo humano. Essa igualdade não precisa ser matemática. Mesmo aproximativa, porém, ela deve ser tal que nenhum elemento ou conjunto de elementos possa dominar unilateralmente os outros. Senão recai-se na hetero-organização. O que pode ocorrer, apenas, é que no decorrer do processo a própria auto-organização leve à

organismo). Ele não comporta necessariamente uma finalidade nem uma tendência global, pelo menos na partida.

c) A dinâmica do processo "absorve" outros fatores, como "condições de partida", "acaso", "sujeito", "ambiente". Essa absorção pode comportar várias modalidades. Pode se tratar de uma neutralização parcial: por exemplo o acaso, importante no início do processo como eventual ponto de amarração, perde peso à medida que a "endogenização" do processo o torna menos vulnerável a impacto externos. Do mesmo modo, o "candidato a sujeito", ou "dono" de um processo, terá suas pretensões diluídas ou minoradas, se se tratar mesmo de um processo auto-organizador. Mesmo quando o sujeito desempenha um papel central (mente em relação ao corpo, numa aprendizagem), esse papel só pode se exercer de modo auto-organizador se ele não procura forças no(s) outro(s) pólo(s). Senão estará acuado no dilema do fracasso ou da volta à hetero-organização. O sujeito tem portanto de se integrar ao processo, de se fazer solicitante e não mandante em relação a outras partes. Até as condições de partida que, em tese, limitam de antemão os rumos e a criatividade do processo podem favorecer sua autonomia: o fato de times de futebol se reunirem num recinto fechado, de perseguirem alvos e obedecerem regras fixadas de antemão, impede a interação de se perder em meandros caóticos – além de exaltar a competitividade e a criatividade. A autonomização do processo em relação a outros fatores reforça seu caráter "auto", esboçado pelo surgimento do "ponto de amarração".

d) No decorrer do processo, através da interação dos elementos e do "jogo cibernético" circular, entre as antecipações do futuro imediato e a memória do passado imediato, pode surgir um atrator. Ou melhor, através de fluxos e refluxos que suscitam atratores provisórios e em seguida os desmancham, pode aparecer um atrator definitivo. Esse atrator não é, portanto, dado de antemão, à diferença do que ocorre com um sistema dinâmico corrente em que elementos variáveis e parâmetros definidos no ponto de partida definem também um atrator. Diremos, então, que o processo auto-organizador obedece a uma "lógica de fechamento", mesmo que, de fato, essa lógica não esteja sempre, ou só esteja parcialmente, respeitada.

As relações entre auto-organização e ruído constituem uma quarta temática, introduzida e popularizada por autores como H. VON FOERSTER e H. ATLAN. Acredito que se deve minorar a importância do "ruído" nos processos de auto-organização. Conhecemos a definição de ATLAN em *O Cristal e a Fumaça*: Se, sob o impacto de perturbações aleatórias, um sistema, em vez de ser destruído ou desorganizado, reage por um acréscimo de complexidade e continua a funcionar, diremos então que o sistema é auto-organizador. Essa definição é excelente, como definição específica (e não geral), proposta sob o ângulo de determinada questão, justamente a do "ruído". Assim mesmo, é bom que se precise que o ruído, na auto-organização, só pode intervir em dois papéis – porque é só com esses dois papéis que a auto-organização não se transforma em hetero-organização ou em algo intermediário entre ambas:

i) O ruído pode intervir como provocador ou catalizador de transformações cuja efetivação, todavia, se situa na dinâmica interna do sistema. Pode também, nas mesmas condições, intervir como modelo: lembremos da "visita" da esquadra norte-americana do almirante Perry à Baía de Tóquio, em 1853, após dois séculos e meio de isolamento internacional do Japão: foi um ruído estrondoso, e que provocou – não houve simples decalque imposto pelo imperialismo – uma ocidentalização acelerada de aspectos importantes da sociedade japonesa, com a cumplicidade e sob a orientação, impulso e controle de uma cultura e de uma identidade nacional que permaneceram basicamente intactas.

ii) Ou então o ruído pode se incorporar a um processo auto-organizador como mais um dos seus elementos. É isso que ocorre em composições musicais modernas, sob a inspiração inicial de compositores como CAGE. Podemos também pensar nas pinturas realizadas "aqui e agora", com a participação eventualmente "ruidosa" de um público. Ou ainda, remontando no tempo, na escritura automática dos surrealistas. Só que, nesses casos todos, o conceito de "ruído" se torna problemático já que, sem ele ou antes de ele se manifestar, o processo ainda não é definido e que, por isso, falta o referencial em relação ao qual algo poderia aparecer – plenamente – como ruído. O ruído no sentido forte só pode surgir quando a composição (musical, pictórica, literária etc.) já se avolumou ou "adensou" numa certa direção (e isso é, precisamente, auto-

organização). Mas então o impacto do eventual ruído se faz menor, devido à "membrana" ou "carapaça" que o processo – ou já sistema – conseguiu "sedimentar". E retornamos assim à alternativa (i).

Seja como for, recusamos um terceiro papel para o ruído: o de colaborar, enquanto ruído, na própria dinâmica do processo de auto-organização. ATLAN aventa num artigo ("Du Bruit comme Principe d'Auto-Organisation", *Communications* 18, 1972; retomada em *O Cristal e a Fumaça*) a seguinte possibilidade. Imaginemos que, devido ao ruído, uma ligação entre dois pontos A e B de um organismo (por exemplo) seja cortada, e que, nessa ligação, B era apenas o receptor passivo e integral da informação transmitida por A. O ponto B, portanto, não criava informação nem era, ele próprio, informação. Agora B fica "livre" de A, o que significa que ele pode ter uma participação própria na atividade do sistema, ou, quando nada, que ele mesmo constitui uma "informação" nova. O sistema em conjunto se tornou, graças ao ruído, mais complexo, apesar da ruptura local de comunicação. Pode ser. Mas, neste caso, já não temos auto-organização em sentido pleno, mas uma relação orgânica sistema/ambiente. Um pouco o que acontece com a dialética de assimilação do meio e da acomodação ao meio, evocada acima. Para PIAGET o sujeito – a criança – adquire posse das suas estruturas psicológicas pela mediação de um desvio. Tem, primeiro, de se medir com o mundo lá fora – comparar, reunir, subtrair objetos, escaloná-los de acordo com um certo critério (cor, volume etc.) – para, só depois, "totalizar" reflexivamente essas operações e ver, por exemplo, que se $A=B$ e $B=C$, então $A=C$. Tudo bem, mas aqui a dinâmica do processo é compartilhada entre o sujeito e o mundo. A idéia de auto-organização que propomos é um pouco diferente: o processo auto-organizado, embora se "nutrindo" de matéria, energia, informação, símbolos exauridos do "lá fora", permanece – na sua dinâmica – essencialmente centrado sobre si mesmo. É cada vez mais, à medida que a auto-organização progride, "por si mesmo" e "para si mesmo". Sua lógica, repitamos, é a do fechamento. No limite a auto-organização pode desembocar na constituição de verdadeiros "quistos".

Tudo isso, poderiam objetar, é frágil. "Você esqueceu o essencial: justificar a definição de auto-organização, de que partiu! Afinal, por que adotar essa definição, que parece apenas a explicitação de uma crença do Senso Comum? Ou, na melhor das hipóteses, uma pura intuição sua? Por que não adotar uma definição científica, à maneira de VON FOERSTER ou ATLAN, por exemplo?" Conforme o autor, a auto-organização nos surgiria então quer como um acréscimo de ordem (entendido como redundância) num sistema; ou como acréscimo de complexidade (entendida como a quantidade de informação – legível ou inacessível – de um sistema).

Não podemos entrar numa discussão do mérito dessas posições. Pode ser que uma ou outra seja legítima. Mas o sentido intuitivo – ou um e/ou outro dos sentidos intuitivos – de "auto" é algo fundamental, que não podemos desprezar. "Auto" é um termo que impregna e ilumina a experiência de qualquer homem. A cada momento referimo-nos, explicitamente ou não, a "auto". Por exemplo quando exigimos maior autonomia para nossa esfera de ação. Ou quando contrapomos comportamento moral autônomo e comportamento moral heterônomo. Nessas condições uma definição de auto-organização que, por falta de ênfase sobre "auto", não poderia ser "reconhecida" e portanto ser admissível pelo Senso Comum (mediante, eventualmente, uma "maiêutica"), seria totalmente arbitrária. Seria um mero jogo de palavras. Muitas palavras podem ser trocadas entre si para designar a mesma coisa. Não é o caso de uma "palavra raiz", que serve de âncora e doadora de sentido para outras.

Mantemos portanto a definição proposta inicialmente. O que não exclui que uma definição do tipo proposto por VON FOERSTER ou ATLAN seja incorporada à definição intuitiva, como conteúdo ou consequência desta última. Isso posto, é claro que a definição intuitiva é insuficiente. Não apenas porque ela pode se prestar a múltiplas interpretações, elas também intuitivas. Mas também porque precisamos, para trabalhar, de uma (ou várias) definição operacional. Devemos "mobilier" e complementar a definição inicial. Vejamos, então, quais podem ser os critérios dessa operacionalidade:

1. Embora não formalizável, a definição deve ser tal que permita identificar de modo claro os processos que serão considerados auto-organizadores.

2. Ela deve também apontar, embora em termos genéricos, para os ingredientes e mecanismos desses processos.

3. No entanto, ela não deve ser tal que nos permita produzir ou reproduzir à vontade – usando uma "lei de construção" (algoritmo, programa) – os fenômenos de auto-organização. Se fosse assim (ou quando é assim), lidaríamos na verdade com fenômenos hetero-organizáveis disfarçados em fenômenos auto-organizados.

4. A definição, mesmo que original, não deveria se afastar em demasia das concepções que "sedimentaram" desde os anos 50, e que têm contribuído para a elaboração de uma tradição filosófico-científica. Devemos procurar nos inserir nessa tradição. Do contrário nosso procedimento poderia ser gratuito e arbitrário.

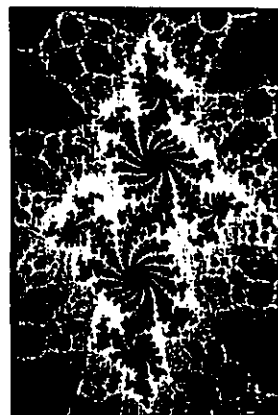
5. É possível que várias definições satisfaçam simultaneamente a esses critérios. Nesse caso consideraremos que essas definições não são simples concepções da auto-organização, mas que se referem à auto-organização, *modalidades* da auto-organização.

Acreditamos que esses critérios foram globalmente aceitos nos trabalhos da coletânea. Quando não foi o caso, nos regozijamos de antemão com as controvérsias teóricas que isso irá suscitar.

Michel Debrun

CAPÍTULO I - COMPLEXIDADE

*viva a
complexidade!*



POR UMA REFORMA DO PENSAMENTO

Há algo mais natural do que simplificar as coisas? Buscar o mais evidente, esquematizar, separar os elementos de um conjunto. Esse é o primeiro passo na exploração do real, um começo de ordem em nossa mente desafiada pela desordem do mundo. Um passo necessário, portanto. Mas enganoso. Pois se alguém se detém no caminho, se toma o ponto de partida por um ponto final, instala-se uma certeza no lugar do que, no melhor dos casos, não passa de uma aproximação, confunde-se a parte com o todo, cai-se em uma visão redutora das coisas. E, cedo ou tarde, paga-se seu preço.

O enfoque simplificador revela-se esterilizante em todas as partes, porque fixa arbitrariamente o que, na realidade, muda incessantemente, porque separa o que por si está unido, desconecta o caótico, do contraditório e do aleatório — que, porém, estão inscritos na natureza das coisas.

não é mais possível deixarmos aos sábios o privilégio do pensamento complexo e continuarmos a pensar o simples. A complexidade deve se tornar a forma de pensar cotidiana de todos nós, pois o complexo tornou-se a própria matéria de nosso dia-a-dia.

BAHGAT ELNADI E ADEL RIFAAI



Imagem de computador criada
a partir de uma fórmula de
geometria fractal.
© Index Stock/Vico, Paris

Complexidade

Como dito no Prolegômeno, Complexidade, Auto-Organização, e Informação aparecem como ligadas, pelo menos parcialmente, tanto em aspectos conceituais como teórico-práticos. Começamos ordenadamente tratando primeiro, neste Capítulo, a questão do surgimento de um aparente novo paradigma consistente na assim chamada *Teoria da Complexidade*. É considerado que um dos primeiros ‘Manifestos’ sobre o tema é devido ao Prêmio Nobel Phillip W. Anderson [1] (reproduzido no **Apêndice II.1**). Tal artigo data de 1972, e numa forma ou outra a idéia teve precursores. Não é fácil fazer uma retrospectiva, simplesmente mencionaremos o do Prêmio Nobel Ilya Prigogine com seus trabalhos desde a década de 50. Podemos consultar o texto de 1989 na referência [2], em cujo Prefácio se lê: "Nosso mundo físico não mais é simbolizado pelos movimentos estáveis e periódicos que estão no coração da mecânica clássica. O nosso é um mundo de instabilidades e flutuações, que em última instância são responsáveis pela incrível variedade e riqueza das formas e das estruturas que vemos na natureza que nos rodeia. Novos conceitos e idéias são necessárias para descrever a natureza, e nos quais evolução e pluralismo sejam os aspectos chaves. [Com isto poderemos] explorar *complexidade*, seja ao nível de moléculas, de sistemas biológicos, ou ainda de sistemas sociais. Enfatizamos o papel de duas disciplinas que tem modificado dramaticamente nossa visão da complexidade. Uma é a *física de não-equilíbrio*: Nesta disciplina o resultado mais inesperado é a descoberta de novas propriedades da matéria quando em condições de fortemente afastada do equilíbrio. A outra disciplina é a moderna *teoria de sistemas dinâmicos*. Nela a descoberta central é a predominância da instabilidade. Brevemente, significa que pequeníssimas mudanças nas condições iniciais podem levar a enormes

amplificações nos efeitos resultantes das mudanças. Os novos métodos que vêm sendo desenvolvidos neste contexto, levam para uma melhor compreensão do mundo em que vivemos". A mais, no **Apêndice II.2** reproduzimos o Prólogo desse livro, e no **Apêndice II.3** o Prefácio de outra obra de Ilya Prigigone, esta com Isabelle Stengers, indicada na referência [3]).

A pretendida Teoria da Complexidade tem seu "Templo" no Instituto de Santa Fé (New México, USA), onde se reúnem seus 'Grandes Sacerdotes' assim como algum associado 'alto e baixo clero', para procurar criar seus fundamentos (se os houver) e dissemina-los entre os ainda "não conversos" da comunidade. A questão tem atingido um certo nível de divulgação popular, como por exemplo em artigos da revista Time do 22 de fevereiro de 1993, que reproduzimos no **Apêndice II.4**.

Não é fácil uma descrição sucinta das diversas definições de Complexidade, e podemos aqui citar o título do artigo de Anderson [4], reproduzido no **Apêndice II.5**: É a Complexidade Física? É Ciência? O que é?.

Por um lado podemos mencionar os artigos de dois Nobelistas que estão entre os fundadores do Instituto de Santa Fé, um o já mencionado Anderson em [4] e Murray-Gellman em [5] (aliás este último artigo foi publicado no primeiro número da revista *Complexity*, editada pela Academic Press e com o Corpo Editorial basicamente proveniente do Instituto de Santa Fé), o primeiro reproduzido no **Apêndice II.1** e o segundo no **Apêndice II.6**.

Desnecessário dizer que a questão é altamente controversa e motivo, as vezes, de azedas discussões. Um adversário é Rolf Landauer, aliás um constante crítico acerbico sobre diversas questões (seu papel de correspondência personalizado tem o mote: "I am entitled to be grumpy!"), e no **Apêndice II.7** são reproduzidos comentários do conhecido, e altamente competente, jornalista científico John Horgan, autor do recente 'best seller' *The*

End of Science [6]: no capítulo 8, intitulado "The End of Chaoplexity" abarca os temas aqui apresentados. Também, e referente especialmente a este Capítulo, podemos mencionar seu "Da Complexidade à Perplexidade" [7], que reproduzimos no **Apêndice II.8**.

Voltando ao tema central parece-nos que, para pelo menos tentar dar uma certa perspectiva sobre este emergente paradigma, o melhor é apresentar trechos do pensamento de Edgar Morin tomados do Capítulo 1, "O desafio da complexidade", no livro da referência [8]. Seguindo Morin: "A problemática da complexidade ainda é marginal no pensamento científico, no pensamento epistemológico e no pensamento filosófico. Quando vocês examinam os grandes debates da epistemologia anglo-saxônica entre Popper, Kuhn, Lakatos, Feyerabend, Hanson, Holton etc., vêem que eles tratam da racionalidade, da cientificidade, da não-cientificidade e não tratam da complexidade; e os bons discípulos franceses desses filósofos, vendo que a complexidade não está nos tratados de seus mestres, concluem que a complexidade não existe. No entanto Gaston Bachelard considerou a complexidade como um problema fundamental, já que, segundo ele, não há nada simples na natureza, só há o simplificado. [...] Warren Weaver dizia que o século 19, século da complexidade desorganizada (naturalmente, ele pensava no segundo principio da Termodinâmica), ia dar lugar ao século 20, que seria o da complexidade organizada. Bom, modestamente, vamos mandar isso para o século 21. [...] O problema da complexidade não é o da completeza, mas o da completeza do conhecimento. Num sentido, o pensamento complexo tenta dar conta daquilo que os tipos de pensamento mutilante se desfaz, excluindo o que chamamos de simplificadores [...]. Por exemplo, se tentamos pensar no fato de que somos seres ao mesmo tempo físicos, biológicos, sociais, culturais, psíquicos e espirituais, é evidente que a complexidade é aquilo que tenta conceber a articulação, a indentidade e a diferença de todos esses aspectos,

enquanto o pensamento simplificante separa esses diferentes aspectos, ou unifica-os por uma redução mutilante. Portanto, nesse sentido, é evidente que a ambição de complexidade é prestar contas das articulações despedaçadas pelos cortes entre disciplinas, entre categorias cognitivas e entre tipos de conhecimento. De fato, a aspiração à complexidade tende para o conhecimento multidimensional. Ela não quer dar todas as informações sobre um fenômeno estudado, mas respeitar suas diversas dimensões: assim como acabei de dizer, não devemos esquecer que o homem é um ser biológico-sociocultural, e que os fenômenos sociais são, ao mesmo tempo, econômicos, culturais, psicológicos etc. Dito isto, ao aspirar a multidimensionalidade, o pensamento complexo comporta em seu interior um princípio de incompletude e incerteza. [...] O problema é saber se há uma possibilidade de responder ao desafio da incerteza e da dificuldade.[...]. Começamos a conceber uma misteriosa relação complementar, não entanto, logicamente antagonista entre as noções de ordem, de desordem e de organização. [...]

Os trabalhos de Prigogine mostraram que estruturas turbilhonárias coerentes podiam nascer de perturbações que aparentemente deveriam ser resolvidas com turbulência. Entendemos que é nesse sentido que emerge o problema de uma relação misteriosa entre a ordem, a desordem e a organização. [...]

A ciência progrediu porque há uma dialógica complexa permanente, complementar e antagonista, entre suas quatro pernas. No dia em que andar sobre duas pernas ou tiver uma perna só, a ciência desabarará. Dito de outro modo, a dialógica comporta a idéia de que os antagonismos podem ser estimuladores e reguladores. [...]

O desafio da complexidade nos faz renunciar para sempre ao mito da elucidação total do universo, mas nos encoraja a prosseguir na aventura do

conhecimento que é o diálogo com o universo. O diálogo com o universo é a própria racionalidade. [...]

A complexidade não nega as fantásticas aquisições, por exemplo, da unidade das leis newtonianas, da unificação da massa e da energia, da unidade do código biológico. Porém, essas unificações não são suficientes para conceber a extraordinária diversidade dos fenômenos e o devir aleatório do mundo. O conhecimento complexo permite avançar no mundo concreto e real dos fenômenos. Muitas vezes foi dito que a ciência explicava o visível complexo pelo invisível simples: porém, ela dissolvia totalmente o visível complexo e é com ele que nos enfrentamos.

O problema da complexidade não é formular os programas que as mentes podem pôr no seu computador mental.

A complexidade atrai a estratégia. Só a estratégia permite avançar no incerto e no aleatório. [...] A estratégia é a arte de utilizar as informações que aparecem na ação e de estar apto para reunir o máximo de certezas para enfrentar a incerteza. [...]

Consequentemente, o estabelecimento de diálogos entre nossas mentes e suas produções reificadas em idéias é uma coisa indispensável para enfrentar os dramáticos problemas de fim desse milênio".

Nestas considerações do Edgar Morin podemos destacar alguns pontos específicos de interesse: um peculiar é que precisamente estabelece a conexão entre os três tópicos a que aqui —e no Fórum organizado por Michel Debrun— nos estamos referindo. Um outro ponto é o do papel da ciência, que obviamente aqui tem que estar presente. Lembremos que das diversas disciplinas intelectuais geradas pela mente humana, científicas são aquelas que se sustentam no método científico. Este método científico, lembremos, teve origem no século XVII, e se considera que seus 'profetas iniciadores' foram

Francis Bacon na Inglaterra, Galileo Galilei na Itália, e Rene Descartes na França. Em relação com isto talvez podemos dizer que desde o ponto de vista histórico a chamada Idade Moderna não tem ponto de partida como está em alguns livros escolares de História, com a queda de Constantinopla para os turcos otomanos, porém se iniciou o 28 de abril de 1686, quando Isaac Newton apresentou sua grandiosa *Philosophia Naturalis Principia Mathematica* em sessão da Royal Society.

O desenvolvimento da ciência, e com ela essa origem da Idade Moderna, é que deu a Europa Ocidental sua subsequente preeminência mundial. E o método científico, que a define, implica na frase de Morin no texto acima uma "dialógica, complexa permanente, complementar a antagonista, entre suas quatro pernas." Sobre este último ponto faríamos uma observação: na verdade o método científico se sustenta muito bem sobre três pernas, que podemos em forma compacta de chamar de *observação, medida, e síntese*. E a ação "complementar e antagonista" de teoria e experimento é fundamental, consistindo num 'casamento indissolúvel' [9-11]. Vale a pena citar a José Ortega y Gasset, o filósofo, humanista, e profundo crítico espanhol da primeira metade deste século XX, quem chamou a atenção para o fato de que: "Toda ciência da realidade, seja ela corporal ou espiritual, tem que ser uma construções e não um mero espelho dos fatos. Porque a Física desde os tempos de Galileu tomou tal decisão, isso a fez uma ciência exemplar e norma de conhecimento". [12]

Na questão tocada por Morin sobre complexidade, informação e estratégia, podemos fazer contato com interessantes observações de John Casti, um dos 'altos sacerdotes' do Instituto de Santa Fé (e também membro do International Institute for Applied Systems Analysis em Viena, Austria). Casti em "CanYou Trust It" [13] comenta que alguém tem acunhado o termo 'hipoteticalidade' para referir-se a situações nas quais é necessário fazer rápidas

decisões do tipo "vida ou morte", e não tendo a possibilidade de realizar experimentos ou testes que seriam necessários para ganhar vital informação sobre a situação antes de ter que tomar a decisão. Acrescenta que isto se refere muito bem para quase qualquer afirmação que queiramos fazer em relação ao comportamento a ser esperado do que hoje chamamos de sistemas complexos também dito de sistemas adaptativos — aqui introduzindo um neologismo em português). Nos enfrentamos com o fato de termos que fazer escolhas críticas sobre um sistema cujo funcionamento (i.e. comportamento) é um total mistério para nós. Estes sistemas complexos, e adaptativos, consistem de um grande número de agentes individuais — moléculas, vírus, genes, investidores —, que podem mudar seu comportamento com base na *informação* que recebem sobre o que é que os outros agentes no sistemas estão fazendo. A interação entre estes agentes pode levar a produção de padrões de comportamento do sistema como um todo, os quais não podem ser compreendidos ou mesmo preditos com base somente no conhecimento que podemos ter dos indivíduos. Estes padrões emergentes são uma propriedade conjunta dos indivíduos e suas interações, estas últimas envolvendo não somente aquelas entre eles mas também com o meio circundante (i.e. são interações internas e externas). A, digamos, 'habilidade' de tais sistemas para resistir ao análise tradicional composto pelas ferramentas do enfoque determinista-reducionista, tem dado lugar a tentativa por parte dos 'complexologistas' de procurar novas e apropriadas ferramentas teóricas para procurar penetrar 'os segredos' destes sistemas. Como – e mais adiante será discutido– a característica fundamental a estar presente (e precisamente aquela que impede aplicação apropriada do método reducionista no que se refere ao análise por coordenadas normais), é a de *não-linearidade* nas equações de evolução do estado macroscópico do sistema. Assim , e como consequência da falta de ferramentas teóricas na matemática dos operadores não-lineares e a acompanhante teoria das equações integro-diferenciais não-

lineares, a maior arma é no momento o computador digital. Em muitos casos trata-se de simulação via modelos, porém há aqui uma dificuldade de relevância que limita sua efetividade: A questão é entender as diferenças entre o modelo computacional e a situação real, principalmente quando tal diferença faz, precisamente, a diferença entre o comportamento real e resultados espúrios na modelagem, (por exemplo, em questões fundamentais e prementes hoje em dia, como, o dito efeito estufa na atmosfera em sua ação sobre o clima, o perigo com formas submetidas à engenharia genética, políticas governamentais em diversos assuntos, etc.

Assim, o primeiro e fundamental teste numa modelagem e cálculo computacional é procurar, e dar, provas convincentes de que as respostas obtidas são uma boa descrição da situação real (um exemplo é dado no **Apêndice II.9**). É bom ter em mente que a questão de o nível de confiança a ser colocado em modelos matemáticos-computacionais depende de dois itens básicos: (1) Quais são as questões que queremos que o modelo responda (em ciências da natureza como Física, Química, e Biologia, quais são as medidas experimentais que queremos analisar), (2) Qual precisão queremos das repostas. Também, um terceiro fundamental item é que, uma vez realizado o trabalho, ter uma análise de, digamos, um especialista experiente para decidir se as respostas obtidas pela modelagem computacional podem ser consideradas satisfatórias; no caso das ciências de natureza (Física por exemplo) se os resultados são cientificamente satisfatórios (ou como dizemos em Física, se tem “sentido físico”). Alguns pontos óbvios devem ser avaliados, como se a abordagem é: (i) *Operacional*, i.e., é o modelo capaz de proporcionar respostas as questões para as quais a teoria tem sido construída?, (ii) *Empírico*, ou seja, os resultados teóricos concordam com a observação e as medidas relevantes ao caso?, (iii) *Teórico*, ou, o modelo concorda ou contradiz teorias já existentes?, (iv) *Consistência*, no sentido de se a teoria é livre de contradições lógico-

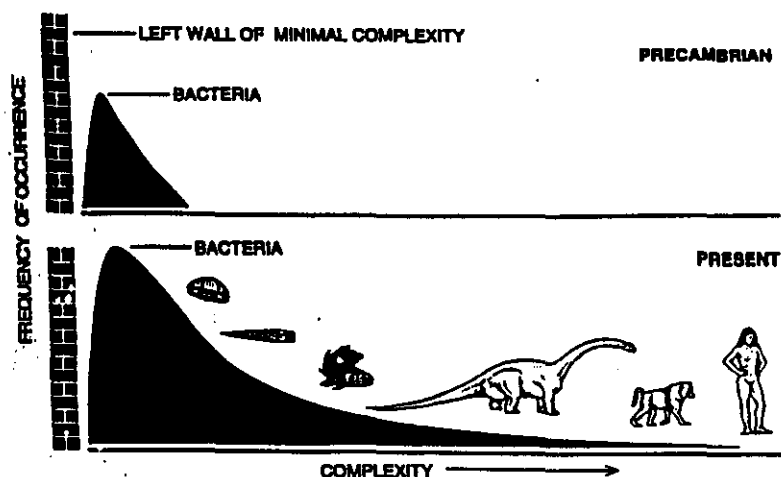
matemáticas?, (v) *Fé* (!), ou seja, os resultados obtidos são intuitivamente aceitáveis?, (vi) *Teste*, podem os resultados da teoria serem testados no mundo real? (um item relacionado ao item (ii) acima). Assim, a resolução satisfatória de todas estas perguntas *validam* a teoria, que em última instância requer o conhecimento e julgamento humano, e como diz Casti, *matemática mais computação não é igual a mágica*.

Anderson, similarmente — pelo menos em parte — com o pensamento de Morin, tem mantido o ponto de vista de que cada nível de descrição tem suas leis 'fundamentais' (em algum sentido), e sua própria ontologia, e que o desafio consiste em conceitualizar esta novidade. Nisto é acompanhado, dentre outros, por Leo Kadanoff, que manifestou que condensando a complexidade do mundo numas poucas leis simples escolhemos ignorar a maravilhosa diversidade e primorosa complicação que realmente caracteriza nosso mundo. Os físicos tem começado a tomar ciência de que os sistemas complexos podem ter suas próprias leis, e que estas leis podem ser tão simples, tão fundamentais, e tão belas como muitas outras leis da Natureza [14]. Já temos mencionado o papel de Ilya Prigogine, que, com os colaboradores da assim chamada Escola de Bruxelas e do Center for Studies in Statistical Mechanics and Complex Systems (Austin, Texas, USA), tem chamado a atenção à necessidade de uma reformulação do pensamento científico que permita incorporar a questão da organização e da evolução num nível holístico de descrição dos sistemas dinâmicos, e apreciar o papel construtivo dos processos irreversíveis: "A crença na simplicidade no nível de descrição microscópico pertence agora ao passado. A Física clássica tem enfatizado estabilidade e permanência. Vemos hoje que, no máximo, tal qualificação aplica-se somente a aspectos muito limitados. Para onde olhemos, descobrimos processos evolucionários levando para a diversificação e crescente complexidade."

Isto nos leva a lembrar que uma área onde este tipo de questão se apresenta mais vivamente é na Biologia. Certamente os sistemas biológicos são sistemas complexos por antonomásia, e dentre eles o cérebro humano é o sistema mais complexo que podemos conceber.

Aqui entram em cena, num certo sentido, Darwin e Freud. Sobre este último (em "Complexifying Freud" [15], e reproduzido no **Apêndice II.10**) tem sido dito que alguns "ministros da mente estão procurando ligações entre suas fontes tradicionais de guia — notavelmente Freud — e certas correntes (para não dizer modas) de idéias científicas (psicoterapeutas procuram inspiração nas ciências não lineares)". Sobre 'complexifying Darwin', podemos citar Stephen Jay Gould [16], que aproximadamente expressou (se não estivermos distorcendo suas palavras) que: A seleção natural não é totalmente suficiente para explicar as mudanças evolucionárias. Muitas outras causas são particularmente poderosas aos níveis de organização biológica, seja por cima ou por baixo do enfoque Darwiniano tradicional dos organismos e suas lutas pelo processo reprodutivo; não importando quanto adequada seja nossa teoria da mudança evolucionária, nós sempre anelamos documentar e compreender as trilhas da história da vida. Porém presentemente o caminho está fortemente determinado pela atual teoria da evolução da vida. Este ponto precisa de alguma elaboração como um aspecto central, mas altamente incompreendido, da complexidade do mundo. Teias e cadeias de eventos históricos são intrincadas, tão imbuídas com elementos randômicos e caóticos, tão não repetíveis enquanto envolvem tal multidão de objetos únicos (e com interações únicas), que os modelos estandardizados de simples predição e réplica não se aplicam. O crescente e confiado determinismo do século XVIII tem seu sonho quimérico esfacelado pela complexidade universal que ora hoje está ficando mais e mais evidente. A história inclui uma forte componente caótica, ou condições iniciais com extremadamente sensível dependência com miúdas e

não mensuráveis diferenças nas condições iniciais, com estas pequeníssimas e não acessíveis disparidades no ponto de partida levando as consequências massivamente divergentes. E a história inclui muitas contingências, ou a modelar os resultados no presente por uma longa cadeia de estados precedentes não preditíveis, em lugar da determinação imediata por leis imutáveis na natureza. Assim, para compreender os eventos e generalidades da trajetória da vida, devemos ir além dos princípios da teoria evolucionária para um exame paleontológico dos padrões da história da vida em nosso planeta —que é um simples versão atualizada dentre as milhares de possíveis alternativas que não tem acontecido. Por razões relativas à química da origem da vida e à física da auto-organização, os primeiros seres vivos surgiram no mais baixo nível de complexidade concebível e preservável para a vida aparecer. Chamemos de 'muralha a esquerda' a este limite inferior para uma arquitetura da complexidade. Em razão de que existe pouco espaço entre a 'muralha a esquerda' e os modos de vida bacterial no registro fóssil, existe somente uma direção para um futuro incremento — aquele de maior complexidade à direita. Assim, vez por outra, uma criatura mais complexa evolui e amplia a diversidade da vida na única direção disponível, com o qual a distribuição da complexidade resulta mais fortemente estendida 'à direita da muralha limitante' através destes incrementos adicionais (vide figura 1 aqui reproduzida a partir da referência [16]).



A questão da evolução biológica em relação com complexidade, em dois particulares aspectos desta última como coadjuvantes da lei de seleção Darwiniana, tem sido tratada por Stuart Kauffman. Voltaremos sobre isto no próximo Capítulo, aqui só apresentando algumas considerações sobre a obra de Kauffman feita por Roger Lewontin em *The New Scientist* (supplement, 13 February 1993.) reproduzidas no **Apêndice II.11**.

Finalizando esta parte com considerações sobre sistemas biológicos, ou mais precisamente sobre complexidade e biologia teórica, reproduzimos no **Apêndice II.12** entrevista de P. Buckley e D. Peat com o biomatemático Robert Rosen, o biofísico Haward Hunt Pattee, e o bioquímico Raymond Somorjai, enquanto no **Apêndice II.13** incluímos considerações devidas aos professores eméritos Hans Frauenfelder e Peter Wolynes sobre complexidade, biomoléculas, e proteínas.

Retomando os aspectos gerais da Complexidade, reproduzimos no **Apêndice II.14** o Prefácio e o Epílogo do livro de Klaus Mainzer, "Thinking in Complexity: The complex dynamics of matter, mind and mankind". No **Apêndice II.15** reproduzimos a revisão por Seth Lloyd de quatro livros (publicados em 1995 e 1996) sobre Complexidade, e em continuação traduzimos os dois primeiros parágrafos: "Complexidade é uma palavra que muito se ouve estes dias nos círculos científicos, porém há muito pouco consenso sobre sua relevância, ou ainda sobre o preciso significado do termo. O latim *complexus* vêm do grego *pleko*, significando trançar ou entrelaçar. Os sistemas complexos são tecidos com muitas partes, e a ciência da complexidade procura entender o padrão desse tecido. Se esta ordem subjacente admite um estudo sistemático ou se a complexidade surge a partir de uma variedades sem leis que tolera poucas generalizações, é uma questão aberta. O orador Cícero usava *complexus* para descrever um intrincado argumento retórico, enquanto

que o obscuro autor teatral Plautus o preferia para descrever os entrelaçados membros no abraço sexual. O significado *à la* Plautus é mais útil para dar sentido ao corrente debate sobre complexidade. O campo de estudos da complexidade invade promiscuamente aquelas áreas que se denominam de científicas, assim como umas outras que não o são. No 'database' da biblioteca do MIT a palavra 'complexidade' está ligada a antropologia, biologia, sismologia, odontologia, economia, geologia, estudos históricos, arquitetura islâmica, caligrafia japonesa, linguística, música, numismática, pesquisa operacional, gerenciamento de porta-fólios, radiologia, estatística, telecomunicações, planejamento urbano, zoologia, só para nomear algumas de milhares de referências. As mesmas técnicas matemáticas certamente não se podem aplicar rigorosamente a todos estes assuntos. Como Don Juan, a ciência da complexidade às vezes deve omitir-se. Não obstante, em alguns campos, os estudos da complexidade não somente se tem mostrado úteis mas também parecem oferecer a única saída de sucesso".

Consideremos agora a questão fundamental associada à Complexidade, sendo o irrevogável fato de que comportamento complexo só pode aparecer em sistemas dinâmicos governados por leis cinéticas (que determinam sua evolução e o eventual estado estacionário que possa atingir) de caráter não-linear. Acabamos de manifestar que complexidade se refere a *sistemas dinâmicos*, e assim como já indicado noutra oportunidade [17], deve ser notado que a complexidade vai além de sistemas físicos e químicos, cobrindo todas as áreas de esforço humano que tratam da dinâmica de sistemas. Os aspectos unificadores desta questão parecem residir na Teoria Geral dos Sistemas Dinâmicos iniciada por Ludwing von Bertalanffy nos anos trinta, seguindo por outros autores (Norbert Wiener, Claude Shannon, R. Buckminster-Fuller etc.), coalescendo nos mais recentes trabalhos de Ilya Prigogine e a Escola de Bruxelas e na disciplina de Sinérgica iniciada por Herman Haken.

A Teoria Geral dos Sistemas foi originalmente apresentada como um novo paradigma para tratar sistemas complexos em todos os campos do conhecimento. Assim, por exemplo, a Biologia não tem que se ocupar somente com os níveis físico-químico ou molecular, mas também com níveis superiores e mais complexos de organização da matéria viva. Os fenômenos sociais devem ser considerados como sistemas, não obstante as dificuldades e imprecisões que apresentam as definições e interações em entidades sócio-culturais.

Votando a questão da não-linearidade nestes sistemas dinâmicos, no caso da física já sua relevância — que está sendo explorada neste fim de século e milênio — foi apontada há um tempo pelo Prêmio Nobel Werner Heisenberg, seu artigo em *Physics Today* [18] reproduzido no **Apêndice II.16**.

É certamente um truísmo dizer que a física de fenômenos não-lineares está recebendo uma grande atenção hoje em dia. No entanto, é difícil definir "não-linearidade" de uma forma que não seja ambígua, exceto, é claro, pelo caráter das equações que modelam o problema. Pode-se talvez dizer que em muitos casos, e aqui a palavra complexidade aparece, a não-linearidade é uma forma de descrição que trata de fenômeno que admitem mudanças qualitativas (às vezes de caráter "catastrófico") quando são impostas modificações sobre os vínculos aplicados ao sistema. Caos, hoje na "alta moda" da Física depois de um período de hibernação, é um sintoma de não-linearidade.

A não-linearidade é ubíqua, e certamente está constantemente em ação de nossa vida diária, e em todas as disciplinas que lidam com sistemas dinâmicos, v.g. em Física, Química, Biologia, Engenharia, Ecologia, Economia, Sociologia etc. Porém o interesse renovado que tem surgido nos cientistas é de um caráter mais básico, i.e., no sentido de se preocupar com

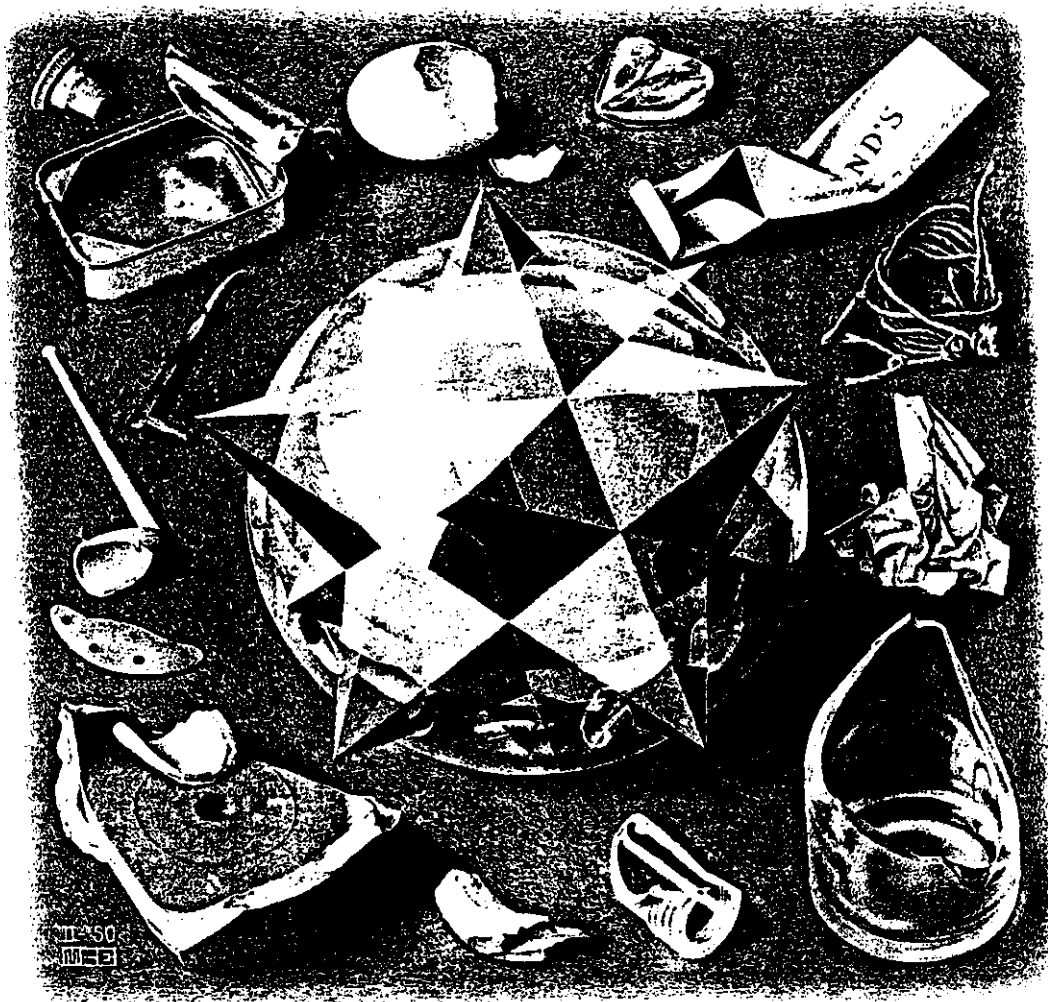
matemático Ian Stewart (personificado pelo ator Jeff Goldblum na série “Jurassic Park” de Steven Spielberg) em [24]: “[Complexity Theory] is the happy hunting ground of ‘maverick gurus’ who revel in just this kind of heady mix and often impart their enthusiasm to others without a judicious dose of critical judgment. Paradoxically, although its aim is to understand complex systems, it makes a virtue of simplicity and draws far-ranging conclusions from models with limited, but carefully chosen, ingredients. In short, it is just what a newly evolving branch of science should be: brash, iconoclastic, over confident-but gripping, fascinating, and a total revelation”.

Nota Bene: Enquanto esta Monografia estava já pronta para impressão, tem sido publicado um número especial da prestigiosa revista *Science* (Vol. 284, Nº 5411, de 2 de Abril de 1999) dedicado ao tema deste Capítulo, e para o qual chamamos a atenção do leitor.

Sob o título *Complex Systems*, o conteúdo é o seguinte:

- Introduction: ‘Beyond Reductionism’, por R. Gallagher e T. Appenzeller.
- ‘Exploring the Systems of Life’, por R. F. Service.
- ‘Life After Chaos’, por C. Zimmer
- ‘Simple Lessons from Complexity’, por N. Goldenfeld e L. P. Kadanoff.
- ‘Complexity in Chemistry’, por G. M. Whitesides e R. F. Ysmagilov.
- ‘Complexity in Biological Signaling Systems’, por G. Weng, U. S. Bhalla e R. Iyengar.
- ‘Complexity and the Nervous System’, por C. Koch e G. Laurent.
- ‘Complexity, Pattern, and Evolutionary Trade-Offs in Animal Aggregation’, por Y. K. Parrish e L. Edelstein-Keshet.
- ‘Complexity in Natural Landforms Patterns’, por B.T. Werner.
- ‘Complexity and Climate’, por D. Rind.
- ‘Complexity and the Economy’, por W. B. Arthur.

CAPÍTULO II - AUTO-ORGANIZAÇÃO



Tegenstelling - Order and chaos - Ordnung und Chaos - Contraste

Auto-Organização

Já temos dito no Capítulo anterior que a complexidade se manifesta em várias situações típicas que aparecem na dinâmica de sistemas.

Dois são de particular relevância. Uma, na moda atualmente, é o caráter caótico em sistemas físicos e outros [20,21], quando a idéia de que um sistema pode ser determinístico porém com comportamento imprevisível é ainda uma novidade chamativa. Como se sabe, a razão deste fato pode ser adjudicada à extrema sensibilidade (hipersensibilidade) em relação as condições iniciais. A outra, sendo aquela que nos interessa aqui, é o caso de sistemas abertos levados para longe do equilíbrio pela ação de fontes externas intensas, quando resulta possível a emergência de padrões ordenados numa escala macroscópica. Estas são, as assim chamadas por Prigogine, *estruturas dissipativas* [25, 26]. Dissipativas porque acontecem em sistemas abertos em condições fora do equilíbrio termodinâmicos, isto é, no seu regime dissipativo, e estruturas porque dão lugar a um comportamento coerente — em algum sentido que explicitaremos dão mais adiante — num nível macroscópico envolvendo um número enorme de componentes individuais do sistema (moléculas, átomos, quasi-partículas, etc.). A mais, se diz que auto-organizadas porque esta presente uma organização — ao nível temporal, espacial, ou outro — desse número enorme de componentes ocorrendo numa escala macroscópica, e auto pelo motivo de que tal organização é o resultado das características peculiares das leis de evolução do estado macroscópico do sistema não sendo impostas por nenhum agente externo.

Como consequência se diz que é um dos milagres universais da Natureza que tal enorme conjunto de partículas sujeitas somente as leis cegas desta Natureza sejam, não obstante, capazes de organizar-se em padrões de atividade cooperativa. Processos deste tipo, como já foi mencionado, tem

adquirido fama graças ao trabalho de Ilya Prigogine e colaboradores, que têm desenvolvido uma ciência da termodinâmica de sistemas longe do equilíbrio para aplicar ao seu tratamento. Esses pesquisadores tem colocado em evidência a natureza criativa dos processos dissipativos em sistemas abertos, em oposição a velha idéia de decaimento por dissipação em sistemas isolados como descrito pela segunda lei da termodinâmica.

Em particular os sistemas biológicos são sistemas complexos por antonomásia, e dentre eles o cérebro humano é possivelmente o mais complexos dos sistemas que podemos conceber. O tratamento teórico dos sistemas biológicos é extremamente difícil, por um lado por tratar-se de sistemas envolvendo complicadíssimos arranjos de macromoléculas em interação e dando lugar a uma enorme quantidade de processos físico-químicos, e por outro lado por apresentar grandes dificuldades o seu estudo experimental. Consequentemente deve intentar-se um tratamento numa sucessão de passos de dificuldades crescentes. Num primeiro passo parece ser conveniente testar idéias, conceitos, e teorias aplicadas a sistemas que admitam um tratamento mais acessível, tanto no nível teórico como, e especialmente no experimental. Um caso particular e relevante é o dos semicondutores, os quais — por causa de um evidente interesse tecnológico — são objeto de uma mui extensa pesquisa, e outro caso é o de sistemas biológico modelados [27].

Auto-organização aparece como um conceito fundamental em biologia, e assim a Escola de Bruxelas tem manifestado que “O surgimento espontâneo de estados auto-organizados [é um fenômeno que] tem completamente mudado nossa visão das ciências físicas e sua relação como a biosfera [...] A célula [...] é um ente altamente estruturado com uma organização temporal e espacial muito bem definida. A compreensão apropriada deste comportamento está bem além dos métodos reducionistas da biologia molecular[...] O conceito de estruturas dissipativas vai numa direção oposta ao mostrar que, sob condições

apropriadas, a matéria inerte volumétrica não mais é algo simples porém podendo mostrar uma grande variedade de comportamento complexo remanescente dos estados vivos [da matéria, e assim] o fenômeno da vida aparece como “natural”, uma consequência inevitável das leis físico-químicas que governam o Universo como um todo [...] As atrevidas e audaciosas hipóteses que consideram que a vida tem sido criada como resultado da auto-organização da matéria é hoje conhecida. No momento atual aparece como [uma] hipótese válida que reconcilia matéria e vida [e] estamos autorizados a esperar que em algum momento no futuro possa ser provado sem ambiguidade que as propriedades de auto-organização de sistemas com a presença de reações químicas e fluxos venham a constituir o elo perdido na evolução da molécula até o homem [...] Somos encorajados nessa expectativa pelos modelos teóricos existentes que mostram a possibilidade de tal esforço” [28].

Assim, aparentemente o ponto de vista da Escola de Bruxelas tenderia a superar a velha controvérsia de reducionismo vs. vitalismo nas ciências da vida. Num certo sentido se teria um esquema que cobre a ambas, requerendo-se que a mais das leis deterministas da física com seu foco reducionista, deveríamos incorporar leis características para a descrição macroscópica de sistemas, que podemos associar ao termo de *macroconceitos* sugerido por Fröhlich. [29].

Auto-organização nos meios materiais, como as ditas estruturas dissipativas, pode apresentar-se sob diferentes aspectos, isto é, partindo de uma situação de estados desorganizados — aos quais nos referiremos como nível de caos térmico, seguir-se a, quando uma apropriada “distância” a partir do estado de equilíbrio é alcançada — num ponto crítico dependendo de cada caso — a emergência de padrões organizados mostrando:

- 1) Ordem espacial (morfogênese),
- 2) Ordem temporal (como “relógios” químicos e biológicos)

3) Ordem espaço-temporal (ondas em reações químicas, etc.)

4) Transições entre estados homogêneos e estacionários (tipos particulares de condensação, como por exemplo o caso do laser), com estes padrões organizados mantidos por um constante fluxo de energia, e eventualmente também matéria, proporcionados por fontes de “alimentação” externas.

As três típicas ilustrações que com frequência são apresentadas na literatura sobre o assunto consistem, nos casos de auto-organização nos campos de física, química, e biologia, em respectivamente o efeito Bènard [30], relógios químicos [31], e agregado de fungos em lodo [28]. Estes são somente três de um grande número de outros sistemas onde auto-organização macroscópica pode acontecer. Recordemos que a emergência de ordem a partir de estados aleatórios e a formação de estruturas complexas em meios fora do equilíbrio surgiu no começo da segunda metade deste século, principalmente em conexão com problemas em cinética química e biologia.

Porém, auto-organização é um fenômeno ubíquo e extremamente interessante que pode aparecer numa larga classe de sistemas, e, dentre outros, podemos mencionar:

- i) Instabilidade hidrodinâmicas [30],
- ii) Reações químicas e biológicas autocatalíticas [31-34],
- iii) Diferenciação celular e morfogênese [35-37],
- iv) Circuitos neurais e função cognitiva no cérebro [38],
- v) Dinâmica de populações e evolução [25, 39, 40],
- vi) Atmosfera planetárias [41, 42],
- vii) Funcionamento de dispositivos eletrônicos [39],
- viii) Transições de fase não equilibradas [39],
- ix) Etc.

Todos estes sistemas apresentam, sob apropriadas condições –como já notado quando suficientemente longe do equilíbrio– um marcante comportamento coerente estendendo-se numa escala macroscópica. Evidentemente estes estados ordenados somente podem ocorrer em *sistemas abertos fora do equilíbrio*, já que a segunda lei de termodinâmica exclui em sistemas isolados estruturas de baixa entropia. Acrescentamos que esta ordem macroscópica pode ser visível com claros padrões simétricos surgindo a partir da desordem térmica, como mostrado, com acompanhamento de alguns comentários nas figuras em continuação.

Figura III. 1: Exemplo de efeito Bènard, de organização macroscópica em células de conexão hexagonal.

Temos aqui um caso de auto-organização em fluidos. Óleo de silicone é esquentado uniformemente por baixo. Aberto o recipiente ao ar pela parte de cima, podem-se notar as chamadas células hexagonais convectivas –ditas de Bènard–, as que se podem ver pela presença de pô de alumínio. [tomada de *Order and Fluctuations in Equilibrium and Nonequilibrium Statistical Mechanics*, editado por G. Nicolis, G. Dewel, and J. W. Turner (John Wiley, New York, 1981)].

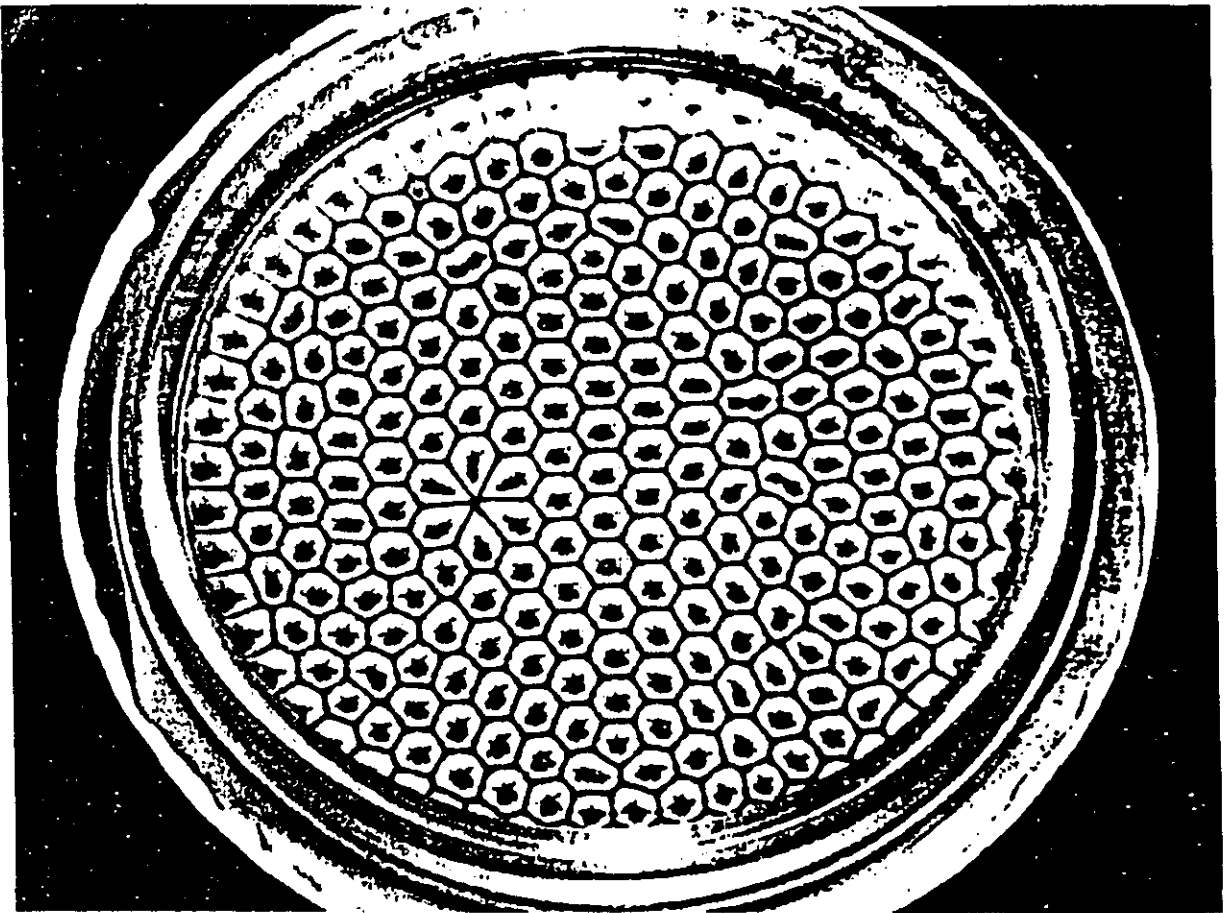


Figura III. 2: Exemplos de efeito Bènard na natureza.

As próximas figuras mostram dois exemplos de notáveis efeitos resultantes do efeito Bènard:

A primeira figura mostra chamativos padrões geométricos (ditos círculos de pedra, porém hexágonos de Bènard arredondados) de rocha, poeira, e gelo, que se formam em solos árticos e alpinos quando a temperatura flutua ao redor do ponto de congelamento.

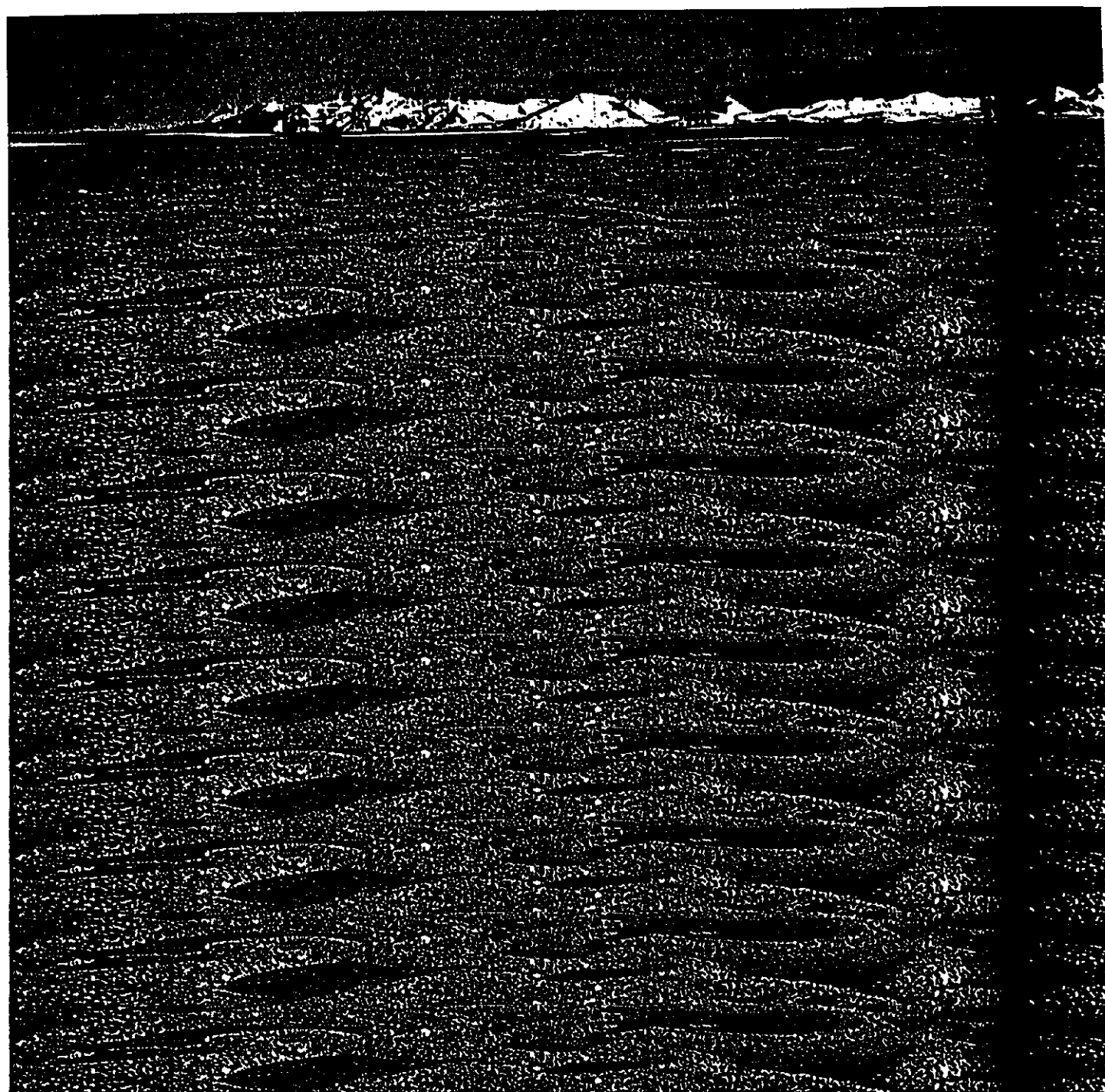


Figura III. 2b: Exemplo de efeito Bènard na natureza.

Hexágonos (um pouco deformados), de Bènard formados no leito de um lago seco durante o lento processo de evaporação.



Figura III. 2c: Exemplo de efeito Bènard na natureza.

Hexágonos (um pouco deformados) de Bènard formados durante lento degelo de terreno ártico (Beacon Valley, Canadá).

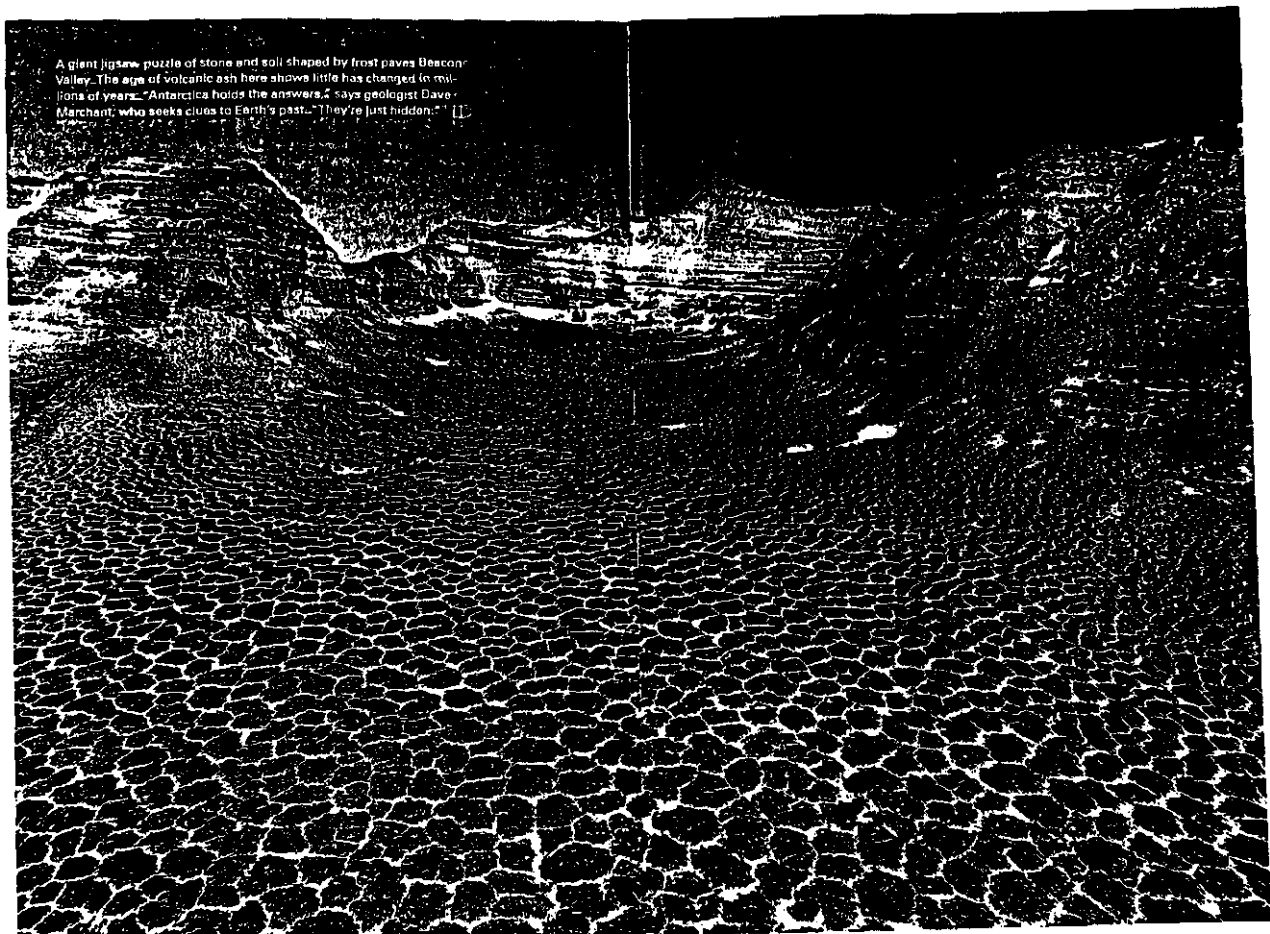


Figura III. 3: “Relógio químico”, reações de Belousov-Zhabotinskii,

Há não muito tempo uma reação inorgânica que oscilasse periodicamente seria considerada como violando a lei da Natureza. Hoje tais reações podem ser sistematicamente programadas, e estudadas como análogas em comportamento àquelas que ocorrem em sistemas vivos. [I. R. Epstein, “Pendulums in the Test Tube”, em *1986-Yearbok of Science and the Future* (Encyclopaedia Britanica, Chicago, 1985)].

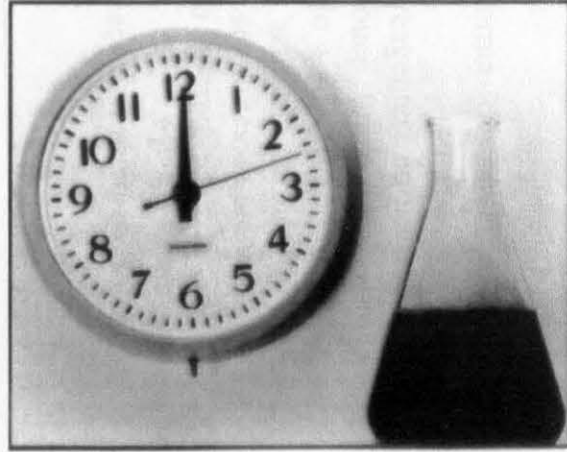
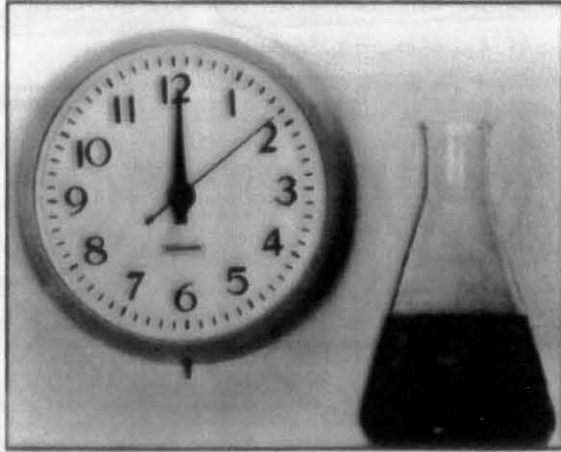
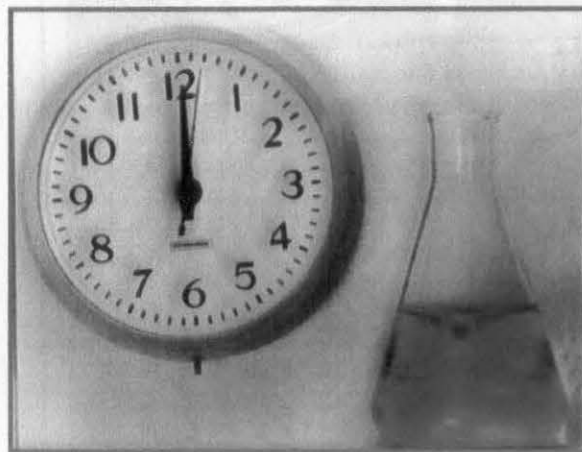
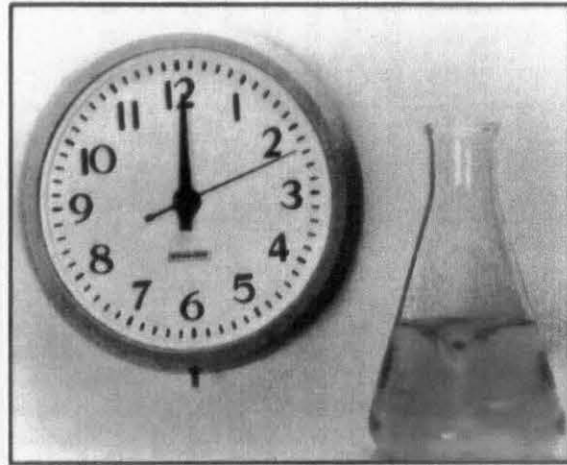
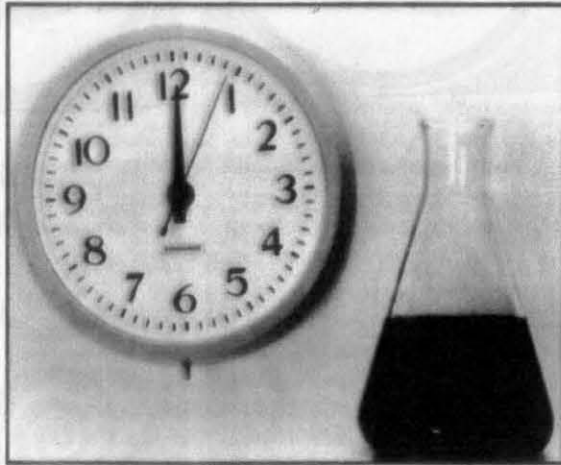
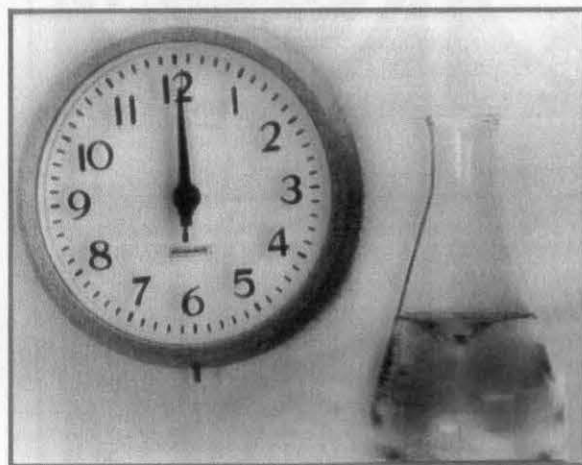
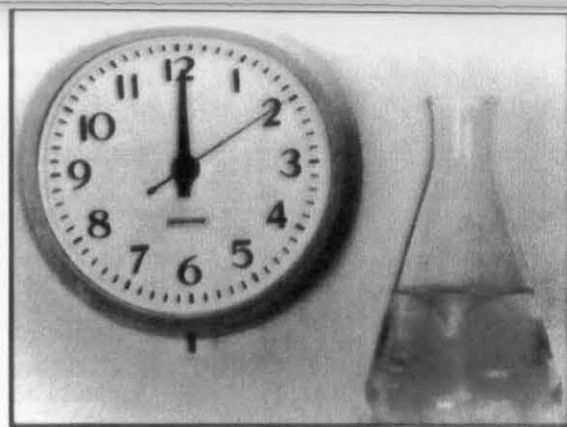
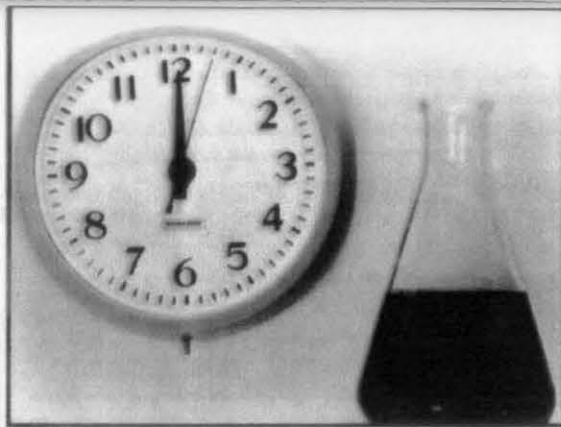
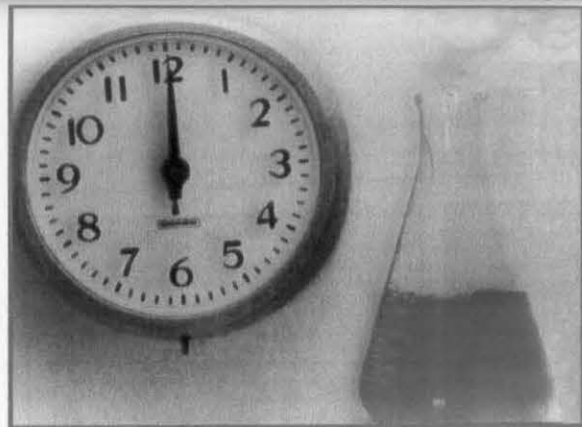
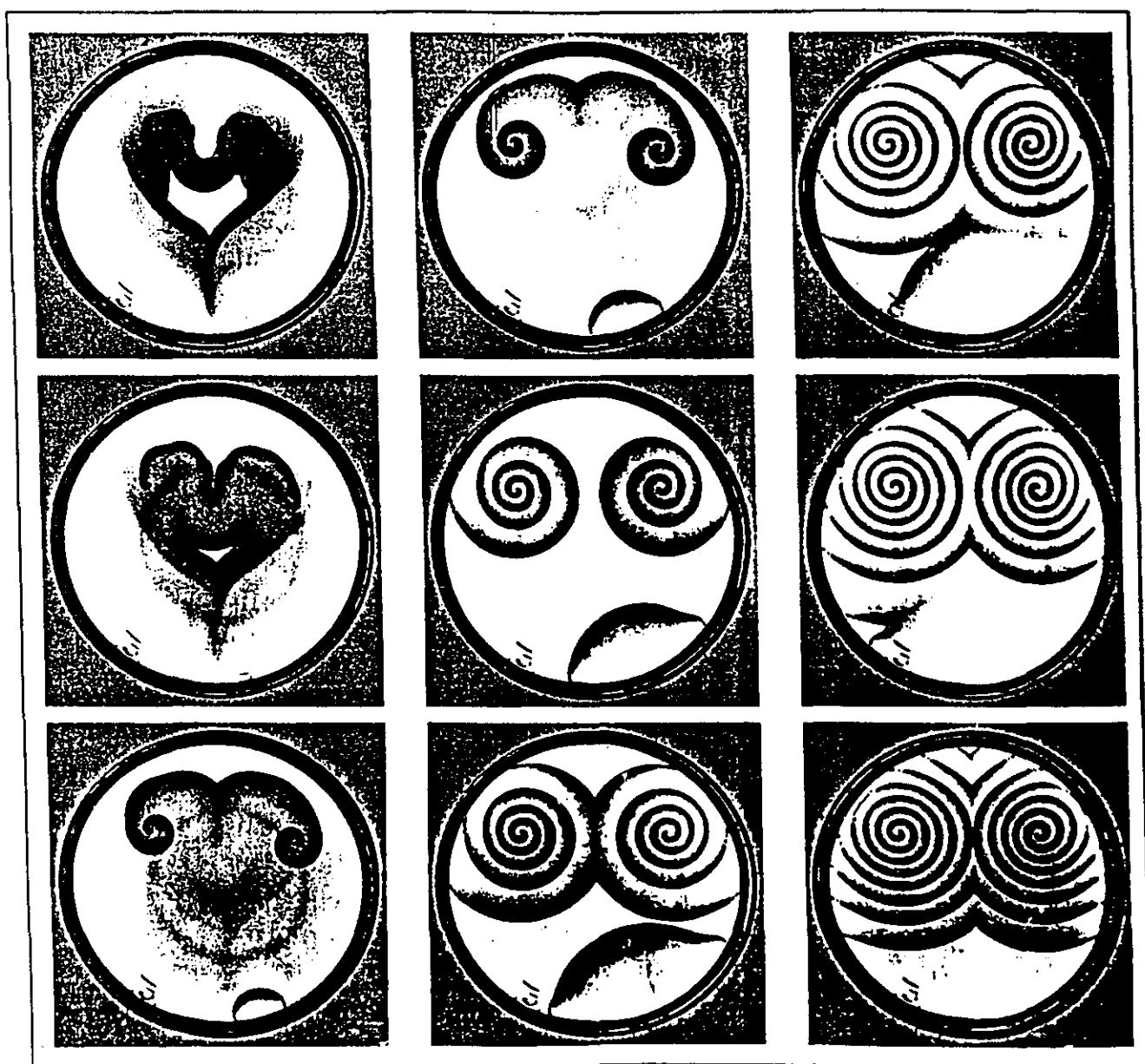


Figura III.4: Reações de Belousov-Zhabotinskii, na forma de ondas (“em pergaminhos”) de reação.

Ondas químicas espirais se desenvolvem quando os reagentes, numa reação de Belousov-Zhabotinskii, são mantidos num recipiente pouco fundo. As ondas podem aparecer espontaneamente ou serem iniciadas tocando a superfície com um fio quente. Algumas bolhas, embaixo e a direita, resultam de acúmulo de dióxido de carbono liberado na reação. Após a primeira fotografia, as seguintes seguem após 0.5; 1.0; 1.5; 3.5; 4.5; 5.5; 6.5; e 8.0 segundos [Fotografias no laboratório de F. Goro e A. T. Winfree]:

A segunda figura mostra, em cores, outro caso de reação com expansão em ondas.



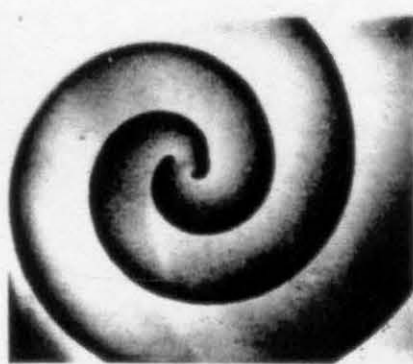
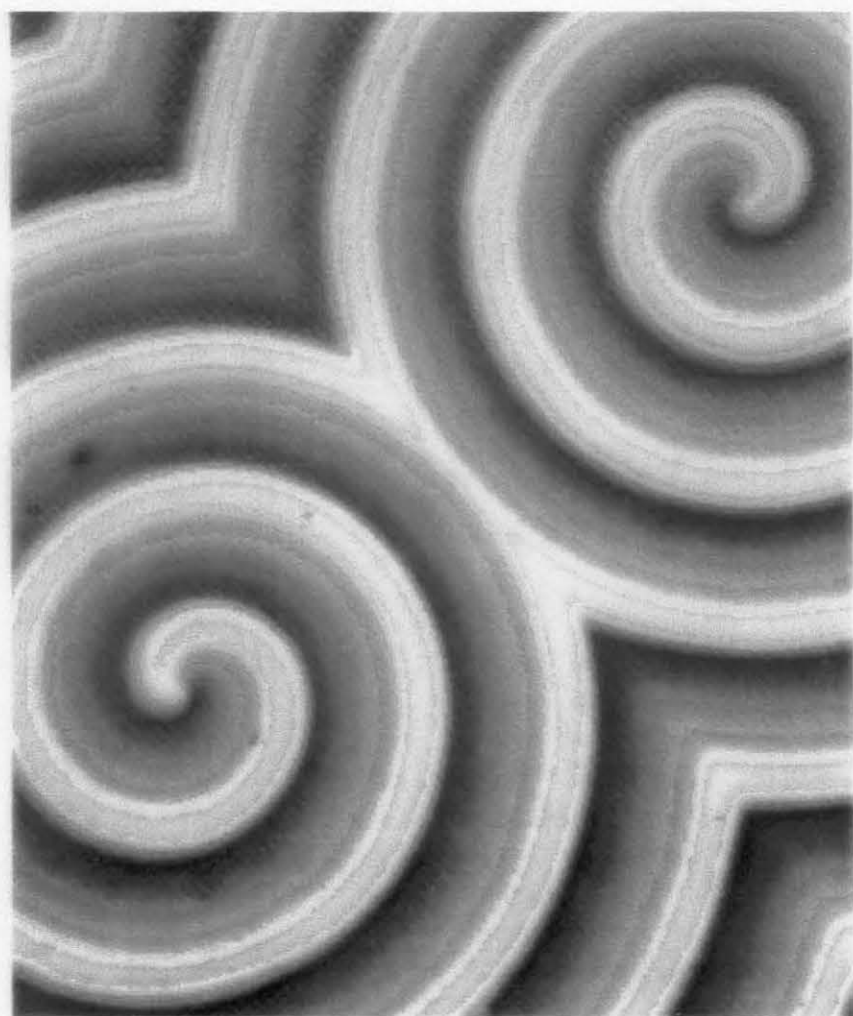


Figura III. 5: Reações quimiotáteis em fungo de lodo, com ondas espirais rotatórias.

Algo similar as reações químicas de Belousov-Zhabotinskii. Na parte de cima o ciclo de vida das amebas. Sob condições favoráveis os esporos se transformam em amebas se juntam e formam uma lesma que finalmente se transforma num corpo produtor de esporos. Durante o processo de agregação, se desenvolvem ondas de atividade quimiotática — como se vê na figura inferior — , nestas colônias de fungo de lodo. Pode-se notar que as ondas espirais rotam em direção opostas.

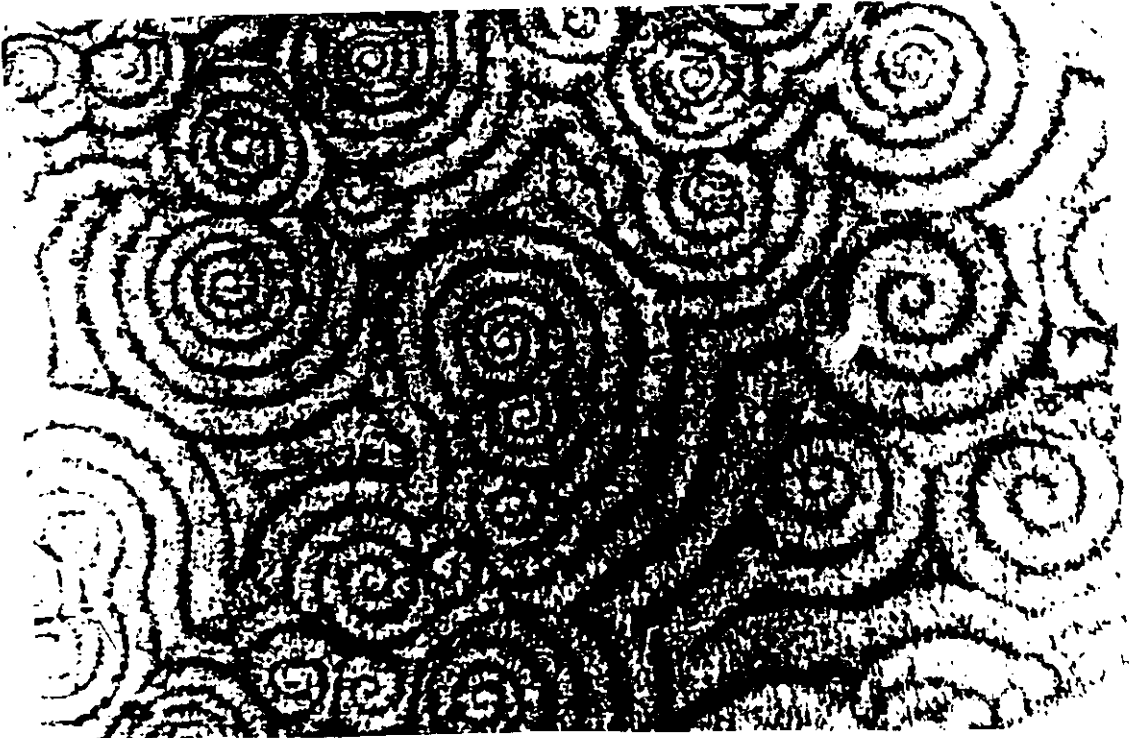
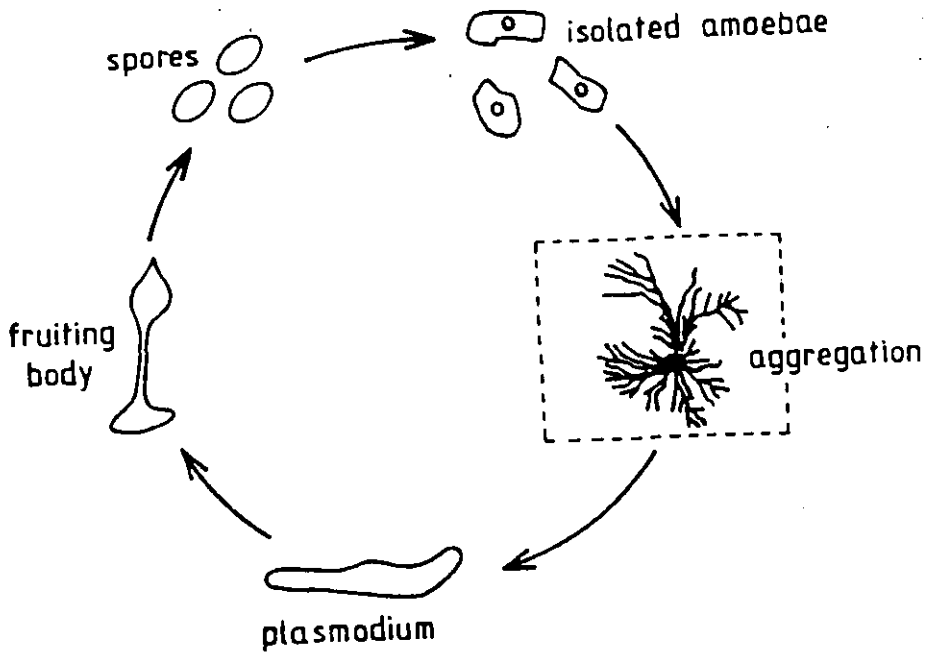


Figura III. 6: Anéis de Lisegang em rochas sedimentares, resultado de reações do tipo Belousov-Zhabotinskii estacionárias.

Anéis concêntricos de cromato de prata precipitado (figura inferior) podem ser formados colocando um cristal de nitrato de prata no centro de uma placa de vidro coberta com gelatina contendo uma solução diluída de dicromato de potássio. Este fenômeno, denominado de anéis de Lisegang, é considerado como resultante da formação de um padrão associado a reações oscilantes do tipo Belousov-Zhabotinskii. O mesmo mecanismo é aceito como o responsável pelos belos padrões em pedras de ágata (na figura superior).

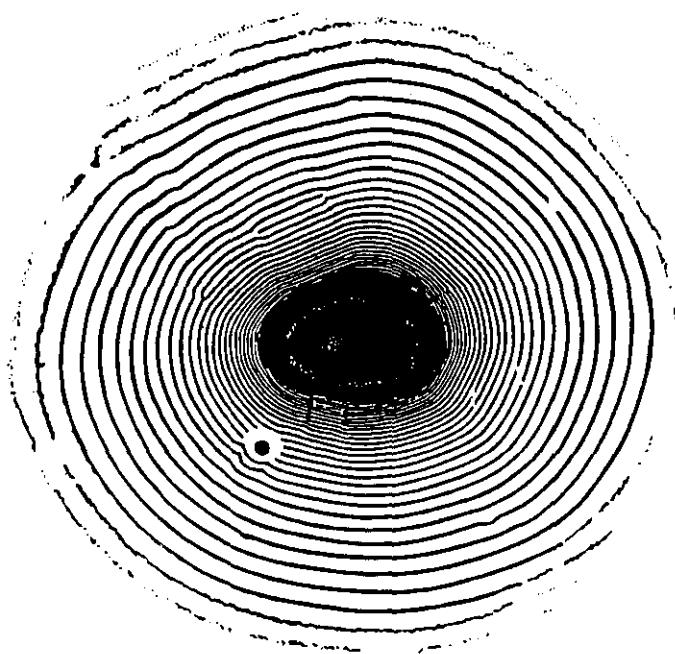
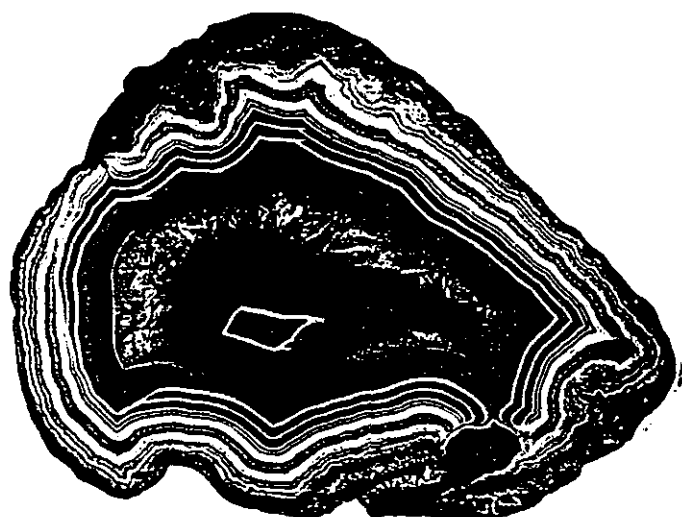
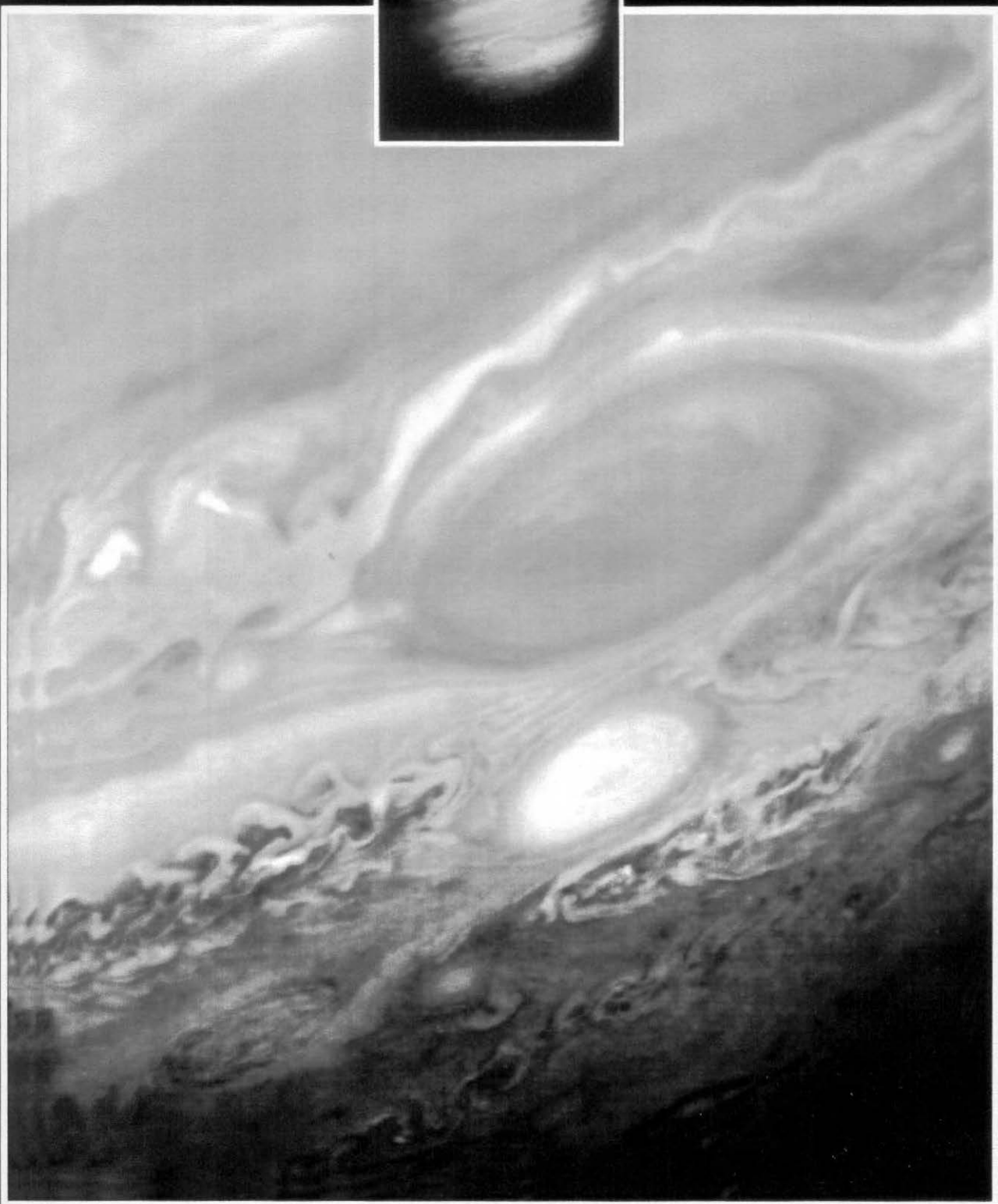
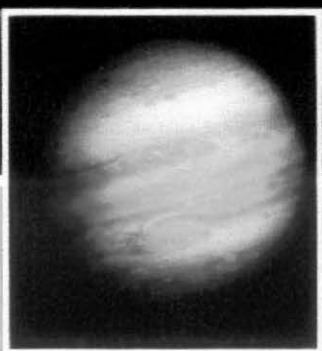


Figura III.7: Ovais rotatórias na atmosfera de Júpiter, com uma organização mantida pela alimentação de fluxos no contorno.

É considerado que ovais rotatórias (‘red spots’) na atmosfera de Júpiter são um bom exemplo de organização, resultante de movimentos em pequena escala (‘eddy currents’) que aparentemente se auto-organizam em estruturas em larga escala que persistem indefinidamente, alimentando-se na energia dos fluxos em pequena escala que circulam na atmosfera.



Stuart Kauffman [*At Home in the Universe: The Search for the Laws of Self Organization and Complexity* (Oxford Univ. Press, New York, 1995)] tem manifestado que sistemas não-equilibrados porém ordenados como a Grande Mancha Vermelha em Júpiter são mantidos pela persistente dissipação de matéria e energia, e denominados de estruturas dissipativas por Ilya Prigogine. Este vortex, essencialmente uma grande tormenta atmosférica, tem estado presente, pelo que se sabe, pelo menos por vários séculos. Assim, a vida média da Grande Mancha Vermelha é enormemente maior que a vida média (entre colisões) de todas e cada uma das moléculas que a formam. É uma organização estável de matéria e energia através da qual fluem ambas. A similaridade com um organismo humano, cujos constituintes moleculares mudam muitas vezes durante uma vida, é intrigante.

Figura III.8: “Zebrinha” mostrando exemplo de ordem morfológica, num estado estacionário resultante de reações químicas acompanhadas de efeitos de difusão.

Na parte inferior da figura reproduzimos alguns desenhos obtidos em modelos matemáticos de reação com difusão, junto com um par de exemplo naturais de peles de mamíferos. As partes (d) – (g) mostram desenho em zebra, (d) e (e), e leopardo, (f) e (g). Podemos notar as similaridades entre (e) e (h) e entre (a) e (f, g). Tais estudos também tem mostrado o interessante fato que por baixo de um tamanho (área) mínima de extensão da pele, e por cima de um tamanho máximo, não há possibilidade de listras ou manchas (rato e elefante, por exemplo).

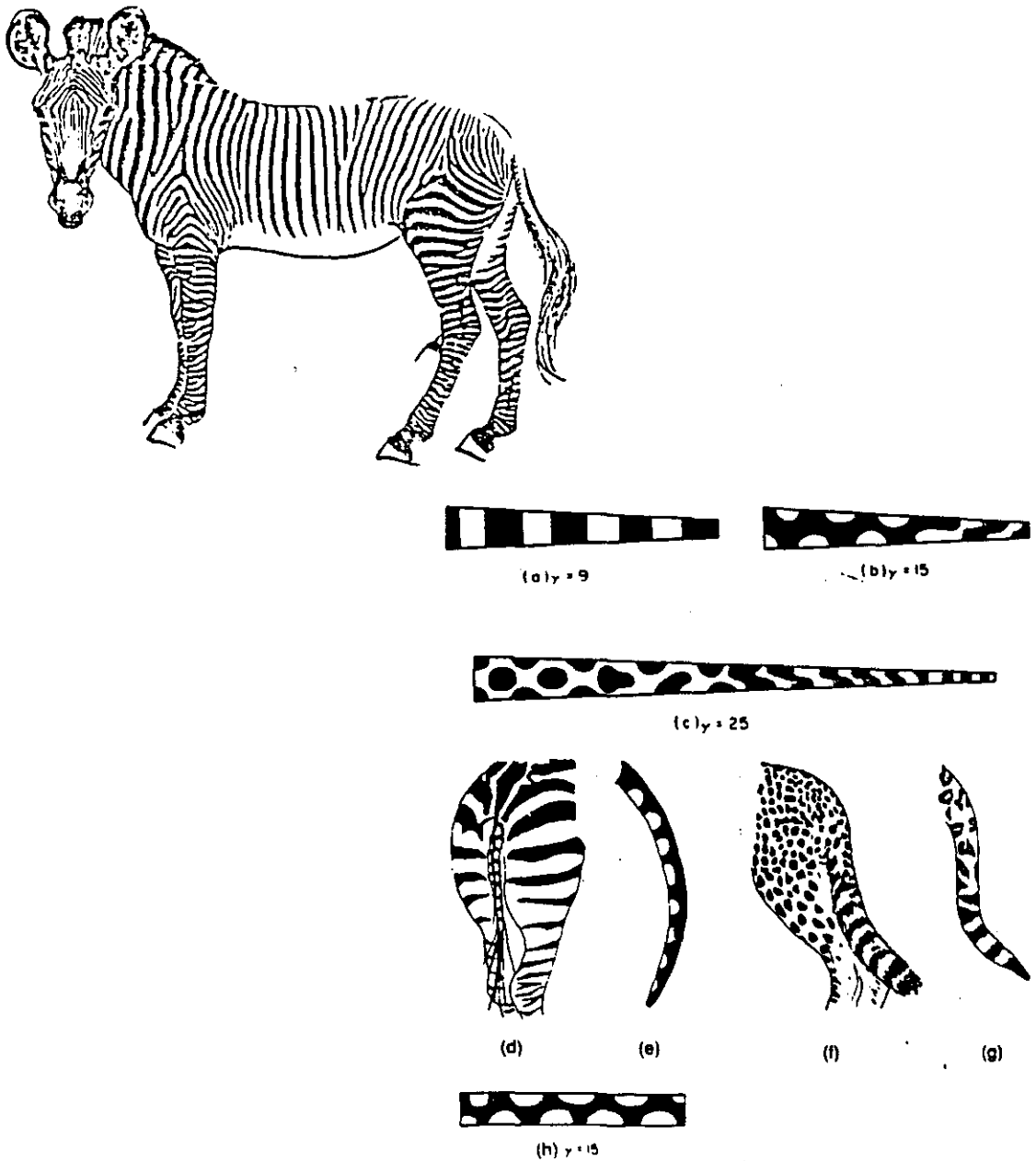
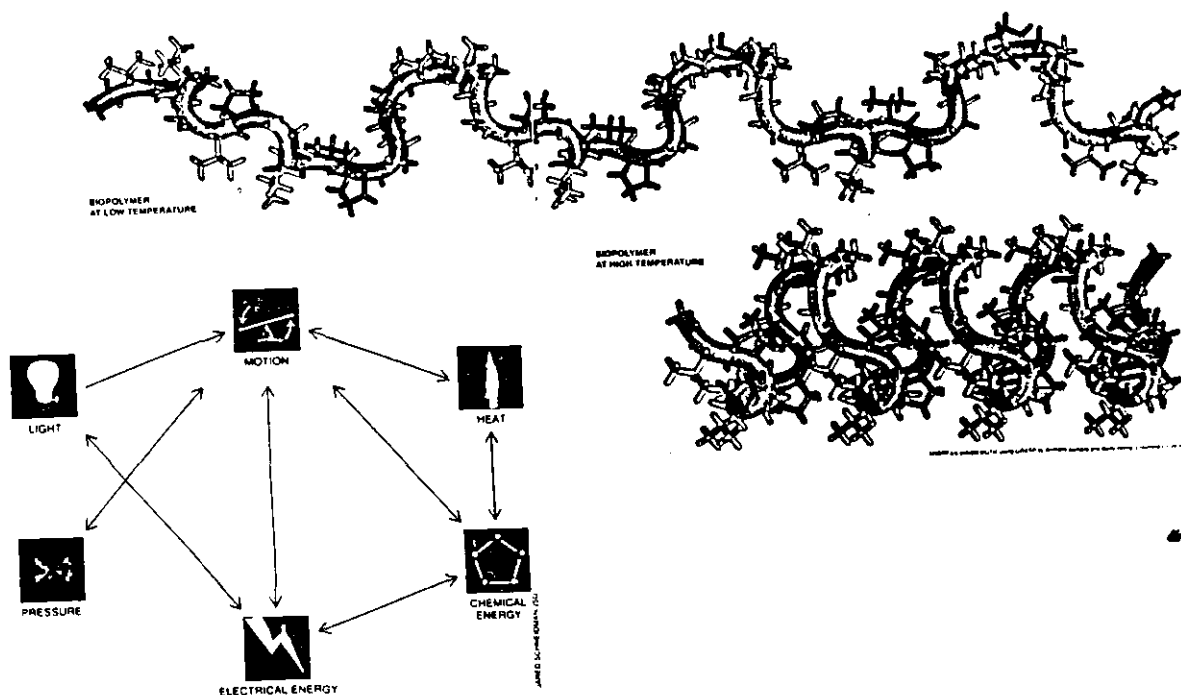


Figura III. 9: Organização espacial de biopolímero

Neste caso, um biopolímero a baixa temperatura se mostra numa forma estendida. Com aumento de temperatura, assim alimentando energia no sistema, segue-se um processo de organização espacial. Componentes amino-ácidos se unem entre si para formar um terço de uma volta de espiral. A repetição desta unidade básica dá lugar a um polímero com uma estrutura helicoidal, com aproximadamente 1.8 mm de diâmetro, que é a denominada espiral-beta [Scientific American, January 1995, p. 46].



Pode-se ser notado que uma definição rigorosa de auto-organização não tem sido dada, e neste aspecto chamamos a atenção do leitor as considerações de Michel Debrun apresentadas ao fim do Prolegômeno.

Até aqui temos dado uma visão intuitiva a qual resumimos como que *auto-organização é o surgimento em um sistema dissipativo aberto e suficientemente afastado do equilíbrio de algum tipo de estrutura ordenada em escala macroscópica (seja estacionária ou com variações temporais cíclicas) determinadas pelas propriedades internas do próprio meio, independente ou fracamente dependente das características da fonte alimentadora que leva o sistema para longe do equilíbrio, independente também do estado inicial do sistema, assim como — em alguns casos das condições de contorno.*

Deste modo, é um princípio para que auto-organização possa aparecer que o sistema perca a memória das condições iniciais, e que exista uma ligação direta entre os parâmetros da estrutura e as propriedades do meio dissipativo. Brevemente, auto-organização é o resultado do desenvolvimento de instabilidades num sistema desorganizado (termicamente caótico) seguida da estabilização de estruturas coerentes em escala macroscópica resultante de um balanço entre perdas dissipativas e processos internos estabelecido enquanto recebe energia e eventualmente massa proporcionada pelas fontes alimentadoras externas.

Surge aqui um ponto importante a considerar: Tais processos internos que são ativados pelo bombeamento de energia para o sistema, tem que ser de caráter *não linear*, ou seja consistir de processos de retro-alimentação e auto-catálise. Isto é consequência, como já notado, de que no regime linear, as vezes denominado de “Onsageriano”, a formação de estruturas ordenadas está excluída como devido a validade do teorema de Prigogine de mínima produção de entropia [31, 43]. De acordo com este teorema existe uma tendência nos sistemas naturais de, neste regime linear, serem guiados para um atrator

consistente num estado de mínima produção de entropia e regressão de flutuações. Deste modo, como parte integrante da disciplina da ‘Complexidade’, a cujo caráter de não linearidade nos referimos no Capítulo anterior, a auto-organização em sistemas naturais pertence ao reino da física não linear. Certamente é um truísmo dizer que a física dos fenômenos não lineares está hoje recebendo um alto grau de atenção (ver o artigo de W. Heisenberg no **Apêndice II.16**).

Como já temos dito no Capítulo anterior a não linearidade é difícil de definir de forma que não seja ambígua, exceto, claro, a partir, das equações que modelam o sistema. Em particular tem sido notado que a equação de Schroedinger é linear, porém tem como limite a equação de Hamilton-Jacobi da Mecânica Clássica a qual é não linear ainda para a partícula livre. A questão em muitos casos é, e aqui entra em ação a palavra complexidade, que a não linearidade é uma forma de descrição que trata com fenômeno que admitem grandes mudanças qualitativas — as vezes de um “caráter catastrófico” —, acontecendo quando são aplicadas modificações sobre os vínculos aplicados sobre o sistema. Caos, hoje na “alta moda” da física depois de um período de hibernação, é considerado como um “sintoma” da não linearidade, como também é o caso da auto-organização.

Os fenômenos não lineares tem importante papel em tecnologia, particularmente na moderna engenharia elétrica, e um caso típico é o laser. Ainda no caso da física da matéria condensada os fenômenos não lineares não são novos, e assim podemos mencionar a teoria do fluxo plástico de deslocamentos, ou caso de que as vibrações harmônicas da rede cristalina não podem explicar a expansão térmica, a qual requer a introdução de forças não lineares, como são as interações anarmônicas.

Embora estes argumentos devemos dizer que a física linear, que recebeu ampla atenção por longo tempo, certamente que não está exaurida. Durante

décadas os físicos lidando com a matéria condensado, para dar um exemplo, estiveram preocupados com as consequências da Mecânica Quântica — a maior teoria do nosso século — , e com um alto grau de atenção. Schroedinger, Heisenberg, Born, Dirac, e muitos outros nos ensinaram como tratar com a complicada dinâmica de arranjos de átomos. Hoje em dia, a mais das aplicações teóricas existentes, surge um interesse vivo e crescente na natureza da teoria quântica da medida e suas consequências [44].

Merece mencionar-se que recentemente James Krumhansl tem considerado a questão “Nonlinear Science: towards the next frontiers” [23]. Em suas palavras, a ciência não linear tem surgido em muitas direções nos anos recentes, com muito sucessos. Dois temas principais tem aparecido em diferentes cenários, como caos e o fenômeno de ondas solitárias [e nós acrescentamos auto-organização]. Embora inicialmente tenha aparecido ligada a modelos simples para os quais foram criados métodos matemáticos e se tenham obtido resultados exatos em certos casos limites, seus aspectos robustos nos deram uma certa segurança de que são fenômenos genéricos. A seguinte fronteira não está tanto no formalismo, quanto em como obter realísticas — e eventualmente úteis — representações de materiais reais, sejam físicos, químicos, ou biológicos, de forma de conectar o comportamento experimental significativo com as propriedades não lineares. Ao mesmo tempo Krumhansl aponta para o perigo de “talvez exagerando, mais e mais pesquisa em ciência não linear está resultando marginal ou irrelevante, auxiliada e permitida pela larga disponibilidade de computadores cada vez mais poderosos, e a facilidade de formular variações sobre um tema matemático básico simplesmente apresentando mais um caso. As vezes muitos destes incrementos se apresentam com novas características fascinantes. Porém, as questões importantes são: primeiro estes resultados estendem a nossa compreensão geral; ou, alternativamente, são novos os aspectos especiais e realmente proporcionam

um aprofundamento quantitativo a alguma observação experimental? Não está claro em muitas circunstâncias de artigos publicados hoje em dia se a resposta a esta pergunta é afirmativa ou negativa [...] Supondo que o objetivo é se ter uma dinâmica não linear descrevendo a realidade [deve-se entender aqui realidade como observação e medida experimental], deveríamos propor a seguinte lista de comprovações em relação aos modelos desenvolvidos: (1) Identificar o fenômeno a ser estudado; (2) Usar variáveis físicas realistas; (3) Comprovar freqüentemente ao longo das simulações se não seria melhor reconsiderar a modelagem ou incrementar seus detalhes”.

Retornando ao ponto principal, manifestamos novamente que *não linearidade* na evolução dos processos é uma característica fundamental para que possa emergir comportamento complexo no sistema dinâmico. Isto, em princípio, nos permitiria aprimorar a caracterização de complexidade e, conseqüentemente, auto-organização. No regime linear de evolução é verificado o *princípio de superposição* (por exemplo, o caso da dinâmica da rede descrita em termos de superposição de modos normais), quando não pode esperar-se nenhum comportamento anômalo (o que é assegurado pelo teorema de Prigogine de mínima produção de entropia). Assim, complexidade pode só ser esperada em condições tais que o princípio de superposição não seja satisfeito, e tal é o caso das equações de evolução não linear.

A assim chamada Escola de Bruxelas tem em boa medida desenvolvido a teoria termodinâmica de sistemas abertos, especialmente no que se refere ao estudo de reações químicas auto-catalíticas. O chamado critério termodinâmico (originalmente dito de universal) de evolução e o critério de (in)estabilidade de sistemas arbitrariamente longe do equilíbrio, contidos em tal teoria, são capazes de cobrir uma grande variedade de situações em sistemas abertos. Vários autores, principalmente Prigogine e colaboradores, na base destes resultados tem avançado a idéia de que auto-organização em sistemas não

lineares e abertos pode constituir uma possibilidade, natural e atraente, como um mecanismo para a emergência da vida e o enigmático problema da ordem funcional nos sistemas biológicos (vide **Apêndice III. 1**). Alan Turing foi pioneiro no estudo teórico da organização espacial estacionária aplicada a um sistema químico modelado [35], o qual foi um predecessor do chamado “Brusselator” proposto por Prigogine [43] e do “Oregonator” proposto por Noyes [33, 34]. Estes modelos apresentam pontos críticos de afastamento do equilíbrio, quando a estrutura espacial homogênea resulta instável. A reação química evolui após o ponto crítico de forma a promover a emergência de um estado estacionário no qual as concentrações dos produtos intermediários variam sinusoidalmente no espaço. Estes autores sugerem que este fenômeno proporcione as bases físico-químicas da morfogênese, e fazem analogias com exemplos de organização química espacial e evolução prebiológica. Em relação com este ponto, Prigogine e colaboradores manifestam que “se o sistema é capaz de evoluir através de instabilidades sucessivas, deve desenvolver um mecanismo pelo qual cada nova transição favorece maior evolução incrementando a não linearidade e a distância do equilíbrio” [45]. Como consequência, enfoques e formalismos do assunto podem representar ferramentas muito valiosas para a biologia teórica, e a fonte de novas idéias e novos conceitos na área.

Certamente que os muitos complicados aspectos de estrutura espacial heterogênea e o funcionamento (evolução temporal nos processos físico-químicos) dos organismos vivos, já começando com a célula elementar, cria problemas em Biologia muito difíceis para o físico e o químico. Não obstante, embora o inquérito científico esteja num estágio inicial muito elementar e bem longe de nos proporcionar um apropriado entendimento dos processos nos organismos com vida, parece estar surgindo — como já comentado — um ponto de partida na direção de encurtar o fosso que separa física e biologia.

Noutro aspecto da questão, na hidrodinâmica de fluídos a não linearidade está primariamente associada com termos de convecção, e as instabilidades surgem quando um certo parâmetro de controle — o número de Reynolds, associado à intensidade da fonte externa que neste caso se manifesta através de um gradiente de temperatura, excede um valor crítico. Nas reações químicas a nonlinearidade está relacionada com a concentração de reagentes, e a condição crítica depende das afinidades químicas, e no caso em que inhomogeneidades estão presentes depende também no coeficiente de difusão. Nos dispositivos físicos a não linearidade aparece nas funções de distribuição dos componentes elementares (moléculas, átomos, elétrons, quasi-partículas, etc.), e a condição crítica é determinada pela intensidade dos campos aplicados. Em todos os casos quando — e se — auto-organização se apresenta esta é, como já notado, o resultado de que a energia bombeada em lugar de ser totalmente usada em produzir inútil agitação térmica, pode ser parcialmente redirecionada para a produção de movimento coletivo, e consequentemente para um incremento no grau de ordem por causa do caráter coerente deste último.

Até agora temos dada uma visão geral e apresentado varias considerações sobre as estruturas dissipativas auto-organizadas. Evidentemente um passo seguinte é tentar um tratamento teórico mais rigoroso. Nesta direção enunciamos duas questões principais que precisam ser encaradas:

1. Qual é a origem microscópica destas transições?
2. Como podemos descreve-las ao nível teórico, e sermos capazes de proporcionar uma análise rigorosa delas?

A descrição dos processos dissipativos macroscópicos na matéria tem sido tratada por meio de diferentes enfoques. Já temos chamado à atenção sobre os fundamentos fenomenológicos da Termodinâmica Irreversível Generalizada [31, 43], assim como seus aprimoramentos como a Mecânica

Irreversível Extendida [46, 47], e a Termodinâmica Racional [48]. Poderosas teorias estocásticas também existem [39]. Finalmente, do nosso ponto de vista, o melhor tratamento para responder as questões acima expostas consistiria numa Mecânica e Termodinâmica Estatísticas, a qual no momento não é uma disciplina completamente desenvolvida. É nossa proposta que, não obstante problemas conceituais ainda não resolvidos, um bom primeiro enfoque ao nível microscópico para evidenciar a descrever os casos de auto-organização pode ser obtido para o caso de sistemas de muitos corpos governados pela mecânica Hamiltoniana (clássica ou quântica) recorrendo para formalismo mecânico-estatísticos.

Aparentemente um formalismo poderoso e prático consiste no **Método do Operador Estatístico de Não Equilíbrio (NESOM)** na acrossemia em inglês), o qual pode ser considerado como uma generalização de longo alcance das idéias seminais e geniais de Gibbs e Boltzmann. Também, parece-nos, está contido no escopo proporcionado pela **Mecânica Estatística Predictiva** devida a Jaynes [49-52]. Neste ponto temos a conexão com a *Teoria da Informação*, e sobre este ponto nos estenderemos no próximo Capítulo. Porém, para sermos mais precisos, as estruturas dissipativas auto-organizadas estão contidas no arcabouço proporcionado

pela **Termodinâmica Estatística Informacional (IST)** na acrossemia em inglês), a qual é uma teoria mecanico-estatística (níveis microscópicos e macroscópicos ligados) baseada no NESOM [53].

Retornando para a problemática de criação de um esquema mais ou menos completo sobre *Auto-Organização* deveríamos ter:

1. Uma *descrição* (i. e. tentativa de definição) abrangente, i.e. abarcando seus aspectos nas disciplinas nas quais, claro, ela possa estar presente.

2. Ao nível pragmático, se ter *formalismo(s)* que a permitam caracterizar de forma a ser possível a comparação com a *observação* sobre os sistemas sendo considerados.

Evidentemente múltiplos autores se tem debruçado sobre o assunto, como Ashby, von Foerster, Atlan, os já mencionados Prigogine e Morin, Thom, Rosen, etc. etc., e no **Apêndice II. 2** reproduzimos algumas partes do livro de Guitta Pessis-Pasternak sobre esta questão do jogo entre determinismo e acaso. Também acrescentamos em continuação algumas considerações de alguns dos autores acima citados.

Em Ashby, [54] “The treatment of “conditionality” [implies in a space of [...] possibilities — within [the subset] of the actualities.” A conexão é com a manifestação de que “devemos ter o *espaço de estados* definidos em termos das *variáveis macroscópicas*”, e nele estão as “possibilidades” e dentre elas os estados “atuais” que estarão determinados pelas soluções das equações de evolução. Nisto temos de novo Ashby: “*organization* between variables [may arise] by the existence of *constraints* in the state of the possibilities”.

Também em Ashby, “the concepts of dynamics and of organization are essentially independent [...] their presence and absence are possible.” De fato, a dinâmica está determinada pelas equações de evolução que podem ou não implicar em organização, com esta última dependendo dos vínculos impostos. É fundamental: (1) que o sistema seja *aberto*, (2) que a dinâmica seja *não-linear*, e (3) que o sistema esteja *longe do equilíbrio*. Só então, eventualmente, *auto-organização* pode surgir da competição entre efeitos dissipativos e realimentação positiva associada aos termos não lineares. [Um aparte para reconsiderar a frase de Ashby “a real system is organized or reducible [depending] partly on the point of view taken by the observer”. Certamente, Ashby deve querer dizer não “observer” porém “theoretician”. O teórico adota ponto de vista (i. e. escolhe a descrição/modelagem dos sistema) e assim, por

inércia poderia não conseguir descrever o fenômeno. O observador não toma pontos de vista, mas simplesmente observa (ou experimenta) e se não observa o fenômeno é também por inércia. Nas figuras previamente apresentadas é óbvia a organização, i. e. é perfeitamente observável; a questão em continuação é se o teórico consegue ou não caracterizá-la num formalismo apropriado].

Atlan, Ashby, e von Foerster, insistem no fato de que o sistema deve ser *aberto*. Em Atlan, “as únicas mudanças capazes de implicar organização em si — e de não serem simplesmente mudança de estado que façam parte de uma organização constante — têm que ser produzidas [aqui nos preferiríamos escrever induzidas] de fora do sistema. Mas isso é possível de duas maneiras diferentes: ou um programa preciso, injetado no sistema por um programador [...] ou então [...] por fatores aleatórios nos quais é impossível estabelecer qualquer “pattern” que permita descrever um programa. Esse é o momento em que poderemos falar de auto-organização, mesmo que não seja num sentido estrito. Essa, portanto, é outra maneira de seguir um princípio de ordem a partir do ruído na lógica dos sistemas auto-organizados”.

Aqui aparece claramente o entre o “cristal e a fumaça” de Atlan.[55] O cristal — como já foi indicado — pertence ao primeiro caso (exemplo de hetero-organização), enquanto que auto-organização em, digamos, estruturas dissipativas advém — como já foi dito — de uma competição entre efeitos dissipativos (tendentes a levar a estados desordenados de entropia crescente) e efeitos de realimentação positiva. Com “alimentação” suficiente, nos casos favoráveis, a última vence a primeira, levando a um estado de ordem (diminuição da entropia — dita de informação com aproximação e ressalvas). Voltando, dentre as “possibilidades” o sistema passa de um estado “atual” (o desorganizado) para outro estado “atual”, o organizado. Isto se dá numa condição crítica, num ponto-estado dito de bifurcação das soluções da equações de evolução. O surgimento da estrutura ordenada (como comentado

no anexo é acompanhado de uma quebra de simetria, claramente visíveis no caso das figuras) se dá pelo processo de “nucleação e crescimento” de essa particular nova estrutura. No linguajar matemático e físico é, respectivamente, um desvio da média na forma de flutuação. Mas flutuação é “ruído”, e aqui aparece a questão de “ordem pelo ruído”, ou o “ruído como princípio de auto-organização” do título do Capítulo 3 no livro de Atlan. Parece também surgir aqui a conexão com os conceitos de “ambigüidade-autonomia” e “ambigüidade-destrutiva”. A última é a regressão de flutuações por efeitos dissipativos (nos sistemas materiais imposta pelo teorema de Prigogine de mínima produção de entropia quando o sistema está “próximo” do equilíbrio), e a primeira é a amplificação de uma particular flutuação levando à auto-organização (quando o sistema está suficientemente longe do equilíbrio). Novamente com Atlan, “uma condição suficiente para que a ambigüidade-autonomia seja capaz de compensar os efeitos da ambigüidade-destrutiva é a existência de uma mudança de alfabeto com aumento do número de letras, quando se passa de um tipo de subsistema para outro, com uma via de comunicação entre os dois”. Reaparece a questão da competição entre realimentação via efeitos não-lineares e dissipação, por um lado, e o fato que o “alfabeto”, entendido como tal o conjunto de variáveis de estado, deve ser estendido para passar de uma descrição a outra, cada uma apropriada para o estado do sistema.. E também, via a realimentação, se verifica a afirmação de Atlan: “É perfeitamente óbvio, no entanto, que o funcionamento do sistema está ligado à transmissão de informação pelas vias de um subsistema a outro, e que, ao lado desse papel “positivo” do ruído, fator de complexificação, o clássico papel destrutivo não pode ser ignorado”.

Para finalizar estas parciais considerações, no que se refere a auto-organização por diminuição da redundância, no capítulo 3 do livro de Atlan, vamos simplesmente comentar que de fato, a redundância R por ele definida

aparece no formalismo estatístico no tratamento de estruturas dissipativas como um parâmetro de ordem (similar ao proposto por von Foerster) com base na entropia estatística (às vezes dita informacional) associada ao método. Só mais um comentário que é que uma primeira bifurcação seguida de formação de um tipo de auto-organização, pode, a medida que o sistema é mais e mais “alimentado”, vir seguida da emergência de adicionais tipos de estruturas auto-organizadas — numa espécie de *auto-organização evolutiva*. Uma “cascata” de processos de auto-organização pode eventualmente surgir, levando para uma situação de sobre-excesso (“hiperinflação”) de ordem tal que o sistema pareça caótico, correspondendo ao estado chamado de caos turbulento, a “fumaça” no título do livro de Atlan.

Como dito, Auto-Organização pode considerar-se como parte da Teoria de Complexidade a que nos referimos no Capítulo anterior. Reiteramos que deve ser notado que a complexidade vai além de sistemas físicos e químicos, cobrindo todas as áreas do esforço humano que tratam da *dinâmica de sistemas*.

Tem sido manifestado que a colaboração de métodos específicos para a pesquisa de sistemas é uma tendência geral de conhecimento científico, mudando o enfoque do século XIX concentrado na elaboração de leis para os constituintes nos processos elementares da Natureza, i. e. enfoque reducionista. Considerou-se que a teoria da informação, como desenvolvida por Shannon e outros, e de amplo uso na engenharia de comunicações e tentativamente noutras ciências, poderia proporcionar uma medida de complexidade: Esta relação entre informação e organização em sistemas complexos é um muito importante problema aberto.

No que se refere a sistemas vivos, a Escola de Bruxelas tem manifestado o importante comentário de que “A aparição espontânea de estruturas auto-organizadas é um fenómeno que tem mudado nossa visão das ciências físicas e

sua relação com a biosfera. A matéria mostra versatilidade e habilidade para organizar-se internamente. Tais achados tem encurtado consideravelmente o fosso que existia entre matéria e vida. Temos nas mãos elementos suficientes para esperar que num dia distante possa se mostrar que a matéria pode adquirir vida através da ação das leis ordinárias da física-química. Tal perspectiva é uma revolução em ciência”.

Como já notado, a auto-organização pode mostrar-se sob diferentes aspectos, i. e. a partir de estados desordenados (chamemos de caos térmico) podem surgir padrões organizados mostrando:

- i) ordem espacial (transformação morfológica);
- ii) ordem temporal (processos cíclicos),
- iii) transição entre estados homogêneos e estacionários,

em todos os casos mantidos por um fluxo de alimentação (e. g. energia e matéria) desde o exterior.

Também enfatizamos mais uma vez que uma característica fundamental para o comportamento auto-organizado surgir é que se tenham contribuições *não-lineares* para os processos de evolução. Isto é consequência de que, em ciências naturais, no regime linear age o teorema de Prigogine de mínima produção de entropia que exclui a formação de ordem: No regime linear existe uma tendência natural dos sistemas físico-químicos para um atrator consistente num estado de mínima produção de entropia e regressão de flutuações.

Isto se *generaliza a qualquer sistema* pelo fato de que no regime linear temos simplesmente superposição de soluções e falta do fenômeno de realimentação que faz crescer e estabelecer-se qualquer estado auto-organizado, como discutiremos mais adiante.

Até agora temos definido auto-organização numa forma um pouco genérica de mais, como sendo a emergência de padrões ordenados numa escala macroscópica. *Não é fácil dar a priori uma definição rigorosa de auto-*

organização. Antes de uma elaboração maior podemos também dizer, ampliando a expressão anterior, que auto-organização é o resultado do desenvolvimento de instabilidade num sistema desorganizado (antes tínhamos chamado de termicamente caótico) com a estabilização de uma estrutura coerente de longo alcance, i.e. numa escala macroscópica, devido ao balanço entre perdas dissipativas internas e ganhos de energia, massa, etc., vindos de uma fonte externa, e sob a condição necessária de que a evolução do sistema seja governada por leis cinéticas não-lineares.

Ressaltemos o ponto fundamental: reside no fato de que estamos tratando com *sistemas abertos não-lineares*, e a instabilidade onde emerge a situação auto-organizada é o chamado *ponto de bifurcação de soluções*^{*1} cujo aparecimento somente é possível sob a ação de vínculos externos que levam o sistema a condições suficientemente longe do regime linear. Assim, a emergência de ordem podem surgir depois de alcançado um nível mínimo de dissipação, e a conexão não trivial entre ordem, estabilidade, e dissipação aparece, tipicamente, quando *mecanismos de realimentação (feedback)* podem estabilizar o comportamento coerente na escala macroscópica.

Até aqui temos tecido considerações e comentários gerais sobre as estruturas dissipativas auto-organizadas. O passo seguinte é rigorizar esta questão: nessa direção podemos enunciar duas questões fundamentais associadas ao problema que, reiteramos mais uma vez, são:

1. Qual é a origem microscópica destas transições?,
2. Como podemos tratar teoricamente e sermos capazes de analisar rigorosamente estas transições? i.e. construir um arcabouço lógico-matemático.

^{*1} Lembrar que *solução* quer dizer a *caracterização do estado* do sistema (tal ponto – também dito de ponto singular– em matemática– e ponto crítico– em física– sugere neste último caso para sistemas de qualquer tipo, inclusive os sociais, que se tem uma "crise").

Fundamentalmente é preciso *caracterizar o sistema e o tipo de informação que se pretende obter*. Assim, parece-nos que teríamos oito itens a considerar:

1. Caracterizar os *elementos constitutivos* do sistema (pode ser um único ou de vários tipos): por exemplo, as diferentes partículas, com seus diferentes graus de liberdade associados, num sistema físico-químico, os indivíduos num sistema sócio-cultural em seus diferentes possíveis classes, aristocracia, clero, militares, classe média, proletariado, burocracia estatal, etc.; os predadores e presas no sistema ecológico de Lotka-Volterra; etc.
2. Definir as *relações* entre os elementos: interações em sistemas físico-químicos; circuitos sociais em sistemas sócio-culturais; característica do sistema predador-presa; etc.
3. Caracterizar os *vínculos externos* (as fontes de alimentação) que agem sobre o sistema aberto: forças e campos em sistemas físico-químicos; forças sociais; alimentação das presas do modelo Lotka-Volterra; etc.
4. Caracterizar os *descartes* (a dissipação) feito pelo sistema: relaxação para reservatórios externos em sistema físico-químico; emigração num sistema populacional; mortes no sistema predador-presa; etc.
5. Definir o conjunto de *variáveis macroscópicas* que caracterizem o estado do sistema, em princípio acessíveis à *observação e medida*: num sistema físico-químico por exemplo uma descrição hidrodinâmica envolve a densidade, o momento linear, e a densidade de energia; em economia quantidade de mercadorias, de ações, de dinheiro, de serviços, etc; populações de classes em sistemas sociais, a população de presas e de predadores no modelo Lotka-Volterra; etc.

6. Construir *leis cinéticas não-lineares*, ou seja as equações de evolução das variáveis básicas i.e. a taxa de variação temporal das variáveis macroscópicas dadas em termos de uma expressão (funcional não-linear e eventualmente não-local e com memória) dependentes destas variáveis e contendo os parâmetros de controle que caracterizam os vínculos externos, assim como os detalhes das interações presentes. Tipicamente, se chamamos de $Q_j(t)$, $j = 1, 2, \dots, n$, tais variáveis, temos

$$\frac{d}{dt} Q_j(t) = \Phi_j(Q_1(t), \dots, Q_j(t); \ell_1, \dots, \ell_5), \quad (1)$$

7. Esta taxa de variação temporal destas variáveis é dada por expressões (as funcionais Φ_j) dependentes das mesmas variáveis e das características do sistema que, em geral, espera-se, sejam não-lineares, não-locais no espaço, i.e. o comportamento em um ponto espacial depende do comportamento no instante do material, e com efeitos de memória, i.e. dependendo da história passada das variáveis $Q_j(t)$ até o momento em que a medida é realizada, e onde Λ_i , $i = 1, 2, \dots, 5$ são parâmetros externos de controle.
8. Dar as *condições iniciais* para o sistema de equações de evolução, a menos de tratar com estados estacionários (As equações de evolução são de primeira ordem na variação temporal e assim requerem uma condição inicial para termos solução única).
9. Se houver dependência espacial no problema, dar as *condições de contorno*, i.e. as condições de fronteira que limitam o sistema.

Como realizar esse programa?: A escolha das variáveis macroscópicas de base é um dos problemas cruciais da teoria: podem existir –como no caso de

sistemas físico-químicos— certos guias, mas em última instância temos uma forte componente antropomórfica no sentido de que com cada caso deve-se recorrer à experiência e intuição.

Uma vez dadas as macrovariáveis de base devemos proceder, de acordo ao sexto item, à construção de suas equações de evolução. Este é outro problema delicado no formalismo. Existem fundamentos fenomenológicos a serem encontrados na Termodinâmica Generalizada dos processos irreversíveis de Glansdorff e Prigogine: as equações construídas em termos de teorias cinéticas fenomenológicas porém acompanhadas de resultados gerais de relevância como o teorema de mínima produção de entropia, o critério universal de evolução, e o critério termodinâmico de instabilidade que permite caracterizar o ponto de bifurcação onde emerge a estrutura dissipativa auto-organizada. Poderosas teorias estocásticas estão também disponíveis dentro do enfoque sinérgico de Haken. Como descrito há algum tempo², nosso Grupo no IFGW-Unicamp tem proposto que em certas situações, e apesar de problemas conceituais básicos ainda não resolvidos, um tratamento ao nível microscópico (molecular e atômico) para evidenciar e descrever estruturas dissipativas auto-organizadas pode ser constituído pela Mecânica Estatística de Não-Equilíbrio, que aplicamos ao caso de sistemas semicondutores fotoexcitados e sistemas biológicos modelados.

Em continuação, comparemos, em forma tentativas, os argumentos anteriores com o Conceito de Auto-Organização avançado pelo Prof. Debrun. No que segue as partes entre aspas se referem as palavras do Prof. Debrun [56].

²* Como descrito na contribuição aos "Anais do Seminários Sobre Auto-Organização", M. Debrun, M.E.Q. Gonzales e O. Pessoa Jr., Eds., (Coleção CLE-Unicamp, Campinas, 1996) [17].

1. “A auto-organização possui as características da organização em geral”; isto está em correspondência com frase anterior de que está associada à emergência de padrões ordenados numa escala macroscópica. “Em particular: pressupõe partes reais (e não apenas analíticas)” em correspondência com o que manifestamos no item (1) de que precisamos caracterizar os elementos constitutivos do sistema.
2. “A auto-organização constitui um processo criador”, em correspondência com o argumento de que a coerência que surge na escala macroscópica não é imposta pelo meio externo que se reduz a fornecer um fluxo (de energia por exemplo) não ordenado. Em um sistema físico-químico a auto-organização usa parcialmente esse fluxo entrante para produzir ordem em lugar de incrementar o caos térmico.*³
3. “Esse processo se origina num corte em relação ao passado. Ou seja: (a) Ele não é prolongamento ou deslocamento de um processo anterior. (b) Ele não é comandado por um código inato. (c) Ele não se reduz à simples maturação de uma estrutura inata”. De fato, do ponto de vista teórico temos, no ponto crítico, uma bifurcação de soluções ('corte em relação ao passado'), que não é prolongamento do chamado ramo termodinâmico (ou anterior) que simplesmente passa a ser instável. Entendemos que, de fato, não é maturação de uma estrutura inata no sentido de que é uma flutuação, resultado de uma chance, que se amplifica e cresce a nível macroscópico. Talvez, sim podemos dizer que é uma *estrutura potencial* que se manifesta na flutuação.
4. “O processo auto-organizado se caracteriza por uma endogenização crescente. Ou seja:

^{3*} Uma ressalva importante: os cristais devem ser considerados como *sistemas hetero-organizados* já que sua constituição é *imposta* por um princípio variacional ("programa" ou "relojeiro") que fixa seu estado pela minimização da energia livre em equilíbrio.

- a) A medida que o processo avance —e até que eventualmente regrida — acentua-se a distinção entre o ‘dentro’ e o ‘fora’ ”. Se corresponde com os argumentos de que auto-organização, pelo menos no que se refere à formação de estruturas dissipativas, se dá em sistemas abertos que estão recebendo “alimentação” externa. Como dito, esta alimentação externa não tem ligação com a ordem ao emergir, a qual é de caráter totalmente interno no sentido referido de amplificação de uma flutuação como resultado de efeitos de realimentação que vencem os efeitos dissipativos, i.e. aqueles que tendem a fazer regredir tal flutuação, como acontece no regime linear.
- b) **(b.1)** “o processo é cada vez mais “responsável” por seu próprio desenrolar . O que significa: que a participação do acaso, que pode ser importante no começo, é progressivamente absorvida”. De fato temos um jogo de chance e necessidade: Entre pontos de bifurcação as questões cinéticas são deterministas, no ponto de bifurcação as flutuações são relevantes, com o desenrolar da nova estrutura ordenada em termos da amplificação da flutuação, associada à nova ordem, até atingir a escala global do sistema. Após esta cinética de formação temos novamente evolução determinista até um eventual novo ponto de bifurcação.
- (b.2)** “que no caso de uma auto-organização no âmbito psicológico, social, econômico, político, ou cultural, as eventuais finalidades (vontades, intenções, planos) dos participantes são também absorvidas. Isto é, neutralizadas, redefinidas, ou subordinadas ao movimento global do processo”. Neste ponto, também válidos para sistemas físico-químicos, parece-nos termos conexão com o conceito de “escravização” avançado por Haken: o comportamento do sistema é determinado pelo comportamento do parâmetro de ordem i.e. daquele que caracteriza na escala macroscópica o fato da formação da estrutura como resultado da amplificação de uma

determinada flutuação. Os outros possíveis comportamento são subordinados a este.

(b.3.) “que o processo não tem “centro absoluto”, que, de cima para baixo, definiria sua direção e coordenaria seu desenrolar. Pode haver centros, inclusive um centro dominante... mas a hierarquia entre esses centros, os outros centros e o processo em conjunto só pode ser uma hierarquia “acavalada” (entangled, enchevêtree). O(s) centro(s) não pode(m) se exteriorizar em relação ao processo”. Entendemos neste ponto que não existe um mecanismo implícito no sistema que determinaria o processo de auto-organização. Relembramos que temos um jogo de chance e necessidade: uma possível flutuação é realimentada pelo efeito de “forças” não-lineares presentes nas equações de evolução. Também é bom lembrar que no ponto crítico as características do sistema determinarão sempre a formação da ordem (do padrão geral) mas não os detalhes menores, e mudanças podem se manifestar como consequência, como mostrado por Prigogine e colaboradores, da presença de perturbações ainda que pequenas, como, por exemplo, o campo gravitacional. cremos conveniente alertar que não devemos confundir o atrator (ponto fixo ou ponto singular, por exemplo no caso de ciclos limites) com o acima referido “centro absoluto”, o atrator é simplesmente uma manifestação matemática indicativa da estabilização da nova estrutura ordenada. (não é inerente ao sistema; é consequência).

5. “Em síntese o processo auto-organizado tem uma história. Ela não é o desenrolar de um sistema previamente dado. Ao contrário, o sistema se constitui através do processo”. Neste aspecto podemos mencionar o argumento de Prigogine de que “É interessante que, num certo sentido, a bifurcação introduz história na física e na química, um elemento que previamente parecia estar reservados para as ciências que tratam com fenômenos biológicos, sociais e culturais”. Ao incrementar o valor do

parâmetro de controle o sistema vai passando pelos diferentes ramos^{4*} que emergem das possíveis bifurcações e que se vão fazendo sucessivamente estáveis com relação ao ramo de evolução anterior. Não devemos confundir esta história com a questão da memória nas equações de evolução; bifurcação e conseqüente auto-organização se manifestam inclusive em sistemas caracterizados por equações no limite Markoviano (sem memória).

6. “A auto-organização assim definida é evidentemente uma *épura*, um “tipo ideal” no sentido do sociólogo Max Weber. É difícil imaginar — sobretudo na área das ciências humanas — um processo concreto que não comporte, misturados e contraditórios, elementos de auto-organização e hetero-organização”. Trata-se aqui já de conceitos mais sofisticados e específicos. Parece-nos, pelo menos no que se refere a última parte da afirmação, que também — mesmo em sistemas naturais — temos misturas de elementos no sentido de que embora a ordem macroscópica seja inerente ao jogo entre processos dissipativos e “forças de realimentação” internas, i.e. presentes nas equações de evolução, levando o sistema a, eventualmente, se auto organizar, ele é aberto no sentido de receber “alimentação” (fluxos de certas quantidades) de uma fonte externa. Talvez um bom exemplo seja o de sistemas biológicos onde o código genético estabelece uma estrutura fundamental, mas reações químicas autocatalíticas (e outros processos físico-químicos não lineares) podem estabelecer coerência e auto-organização no nível macroscópico. No que se refere a auto-organização como *épura*, entendendo esta como uma projeção de um espaço de dimensão dada para outro de dimensão menor, esboçaremos — talvez sem muita convicção — que tal aspecto pode ser relacionado com o fato de que no ponto de bifurcação se tem uma quebra de simetria menor que a do

^{4*} A chance define o ramo (na transição entre soluções deterministas) e assim se estabelece a “história”.

estado anterior que passa a ser instável: em jargão matemático, o grupo de simetria da nova estrutura é subgrupo (i.e. está contido) no grupo de simetria anterior.

Completamos assim esta descrição verbal da questão de auto-organização, um pouco desde o ponto de vista das ciências naturais, mas — como tentamos fazer — acreditamos que as idéias e métodos podem se estender a praticamente toda situação que possa cair dentro do esquema da Teoria Geral de Sistemas.

Temos procurado mostrar que o conceito de auto-organização em sua forma genérica apresentado pelo Prof. Debrun tem completa contrapartida no enfoque físico-matemático; e assim — em particular — as estruturas dissipativas “à la Prigogine” em sistemas naturais correspondem corretamente a tal conceituação de auto-organização.

Por regra geral a auto-organização vai acompanhada de uma *quebra de simetria* com características que podem ser visualizáveis como nas figuras anteriormente apresentadas.

Como palavras finais podemos talvez enfatizar dois possíveis aspectos de grande relevância associados à formação de auto-organização. Um é na vital questão da vida, se nos permitem o trocadilho, e reprisando as questões da Escola de Bruxelas “auto-organização tem mudado completamente nossa visão das ciências físicas em relação com a biosfera. A matéria não é simplesmente um objeto inerte que muda somente se agimos sobre ela. Pelo contrário, ela pode mostrar sua própria 'vontade' e versatilidade e habilidade para sua organização interna”. Como já dizemos estes resultados tem encurtado notavelmente o amplo fosso que existia entre matéria e vida, com a última a eventualmente surgir da primeira através da ação de leis físico-químicas

ordinárias. Por outro lado, no aspecto social da vida humana, podemos lembrar os argumentos de André Danzin e Ilya Prigogine [Correio da Unesco, abril de 1982] de que “O homem é feito para evoluir, e essa evolução suscita problemas novos a cada instante, gerados justamente pela aplicação das soluções encontradas para eliminar problemas anteriores... vamos nos deter por um instante sobre o conceito de evolução. Quando um fenômeno se caracteriza por um alto grau de complexidade, e é submetido a força contraditórias – o caso das sociedades humanas – sua evolução é representada por *períodos de continuidade interrompido por bifurcações*. Quando se chega a uma bifurcação onde diversas soluções são possíveis, basta a intervenção de *um fenômeno ínfimo, chamado flutuação*, para beneficiar preferencialmente uma das evoluções, essa evolução *então se impõe irreversivelmente e se infla com seu próprio sucesso até chegar a um novo ponto de inadaptação*... A interação das idéias filosóficas com as aplicações técnicas produz um fenômeno de auto-organização”.

Completam este Capítulo III sobre Auto-Organizações **Apêndices**

III.3 até III.11:

- III.3. Algumas considerações sobre complexidade e auto-organização em Biologia
- III.4. Idem
- III.5. Sobre a questão da ‘beleza’ das pedras de ágata
- III.6. Meandros em rios como questão de auto-organização
- III.7. Auto-organização em materiais
- III.8. Auto-organização, propriedades emergente, e conhecimento
- III.9. Auto-organização e sinergese em sistemas abertos
- III.10. Auto-organização, instabilidade, e mecânica quântica

III.11. Críticas sobre auto-organização e informação.

CAPÍTULO III - INFORMAÇÃO

The future does not exist; it can only be predicted.

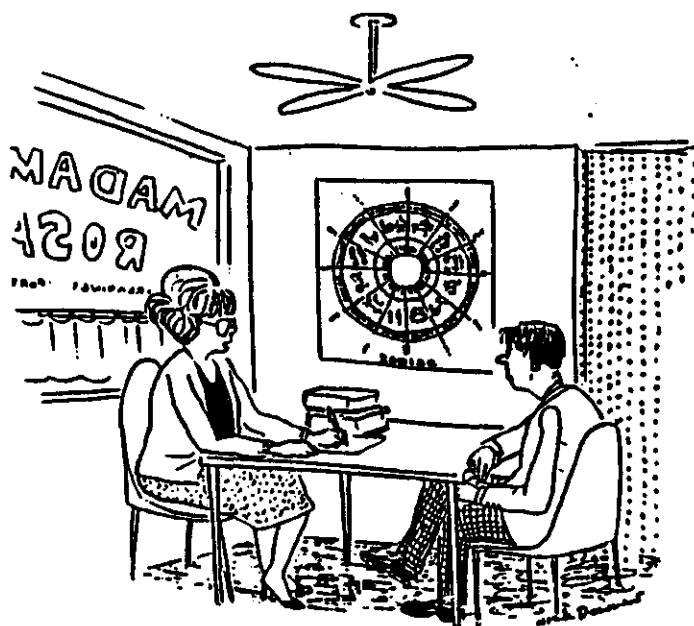
Jacob Bronowski

When we make an inference beyond the observational data, we express a logical relation between the data and the inference [...] This relationship between a set of data and a conclusion is called probability, and the subject is essentially what is now called a many-valued logic.

Sir Harold Jeffreys

It is absurd to deny the role of fantasy in even the strictest science.

Vladimir Ilich Lenin



"You have little understanding of probability, causation and coincidence."

Informação

Informação [do latim *informatione*] é o ato ou efeito de informar, que por sua vez [do latim *informare*] é dar informe ou parecer sobre; instruir, ensinar, confirmar, corroborar, apoiar, tornar existente ou real, avisar, cientificar [57]. Também [58], “*an endowing with form; training, discipline, instruction; the communication or reception of knowledge or intelligence; a signal purposely impressed upon the input of a communication system; a logical quantity belonging to propositions and arguments as well as terms and comprising the sum of the synthetical propositions in which the term, proposition or argument taken enters as subject or predicate, antecedent or consequent*”

Estas são definições dadas pelos dicionários para o termo *informação*, no seu sentido usual no uso da linguagem corrente, exceto a última acepção que é a que mais se aproxima, parece-nos, aos propósitos que aqui nos interessam, talvez sintetizável em que o interesse é o de uma teoria aprofundada sobre o processamento de informação e intencionalidade na ciência do conhecimento.

No seu sentido usual informação tem ganho proeminência no mundo atual: como alguém já disse, flutuamos em um oceano de informação, com os países industrializados avançados a miude caracterizados como “sociedades de informação” [59]. Lembremos também que tem sido cunhado o neologismo informática, uma disciplina destes tempos, que trata com o processamento da informação.

Como é usualmente entendido o processo de informação requer um emissor, um canal de transmissão, e um receptor. Esta crescente afluência de informação está destinada ao seu uso pela humanidade, assim podemos dizer que a última etapa de recepção é pelo ser humano, para quem a informação

deve ter *significado*. Evidentemente não toda mensagem tem significado para qualquer receptor. Em geral uma mensagem tem significado se é essencial para alguém, em primeiro lugar em conexão com a idéia de sobrevivência, mas, em geral, se refere a motivação e interesses [59].

Rolf Landauer em “Information is physical” [Physics Today, May 1991, pp. 23-29, e reproduzido no **Apendice IV.1**] tem dito que: “A Termodinâmica surgiu no século XIX a partir da tentativa de compreender os limites de performance das máquinas de vapor [no início da Revolução Industrial], de forma de antecipar todas possíveis invenções. Claude Shannon, durante a Segunda Guerra Mundial deste século XX, analisou os limites dos canais de comunicação [dando início à depois chamada *Teoria da Informação* [60, 61]]. Não é surpreendente, então, que logo após a emergência da computação digital moderna, questões similares tenham, aparecido neste campo. Vem logo à mente associar uma parte lógica com um grau de liberdade, e então adjudicar a energia térmica kT [k é a constante de Boltzmann e T a temperatura absoluta de Kelvin] com ele, e supor que esta energia deve ser dissipada em cada passo. Similarmente, parece óbvio para muitos que o princípio de incerteza, em Mecânica Quântica, poderia ser usado para calcular o mínimo requerimento de energia envolvida, e consequentemente a perda de energia, para pequenos intervalos de tempo [...]. Computação é inevitavelmente feita com graus de liberdade físicos reais, e usando materiais disponíveis no universo físico também real. Como isto restringe o processo? A interface entre Física e Computação, vista de um nível fundamental, tem dado lugar não somente a estas questões, como também a um conjunto de outros assuntos. Um é Complexidade onde um bocado de pesquisadores tem estudado medidas de complexidade, procurando quantificar esta noção intuitiva. Boa partes destes estudos estão guiados pela esperança dos cientistas de achar uma estrada para conseguir penetrar questões como a origem da vida e o processo da evolução.

Esta preocupação com *Complexidade* substitui, até um certo ponto, prévios conceitos com *auto-organização*”^{*1} (e temos aqui conexão com os Capítulos anteriores). No Apêndice IV. 1, acima referido, também incluímos um outro artigo por Landauer sobre o jogo entre energia e informação.

Por outro lado, Edwin T. Jaynes tem dito que:

“Ciência é Informação apropriadamente organizada”,

e, como consequência, nos ocuparemos em continuação com um formalismo teórico para intentar dar forma ao uso de informação em Ciência.

Isto consiste em um tratamento estatístico associado à Teoria de Informação *à la Shannon*, e está baseada na obra do acima referido E.T. Jaynes [49-52]. Assim, começamos citando a Jaynes: “É a obvia importância dos teoremas de Shannon que em primeiro lugar domina nossa atenção e respeito; mas como eu entendi mais tarde, foi precisamente sua vaguedade nestas questões conceituais — permitindo a cada leitor interpretar o trabalho na sua própria maneira — que fez dos escritos de Shannon, como aqueles de Niels Bohr, tão eminentemente apropriados para se converter em Escrituras de uma nova Religião, como rapidamente aconteceu em ambos casos”.

A construção proposta por Jaynes relaciona Teoria de Informação, que alguns autores consideram como parte da Teoria de Probabilidade, com o ramo dito Bayesiano desta última [no **Apêndice IV. 2** reproduzimos a Introdução e parte do primeiro Capítulo do livro de John Earman, *Bayes or Bust?: A Critical Examination of Bayesian Confirmation Theory* (MIT Press, Cambridge, MA, 1992)]. Este Apêndice é seguido do **Apêndice IV. 3**, contendo reprodução do artigo de Jaynes sobre fundamentos de teoria de probabilidade e mecânica estatística, resultante da apresentação feita no assim chamado Seminário de Delaware (Marzo, 1965) coordenado pelo filósofo da ciência Mario Bunge, e do **Apêndice IV. 4** sobre os fundamentos e história do método da Maximização

^{*1} A tradução tem sido por nossa conta.

interações) e o macroscópico (ao nível das propriedades globais do sistema de elementos individuais). O propósito da Mecânica Estatística, e no que nos interessa a de sistemas fora do equilíbrio, é determinar as propriedades termodinâmicas e a evolução no tempo dos observáveis macroscópicos de tais sistemas, em termos das leis dinâmicas que governam o movimento das partículas constituintes.

Não é fácil estabelecer as datas de nascimento da Mecânica Estatística. São considerados seus “pais fundadores” (cientistas da segunda metade do século XIX) J. C. Maxwell, L. Boltzmann e J. W. Gibbs. Este último proporcionou um método matemático tão ordeiro e sistemático que se constitui nos alicerces rigorosos desta ciência. Mecânica Estatística está fundamentalmente baseada no cálculo de probabilidades, especialmente no espírito introduzido por Laplace [62]. Jacob Bronowski tem manifestado que [63]: “Este é o pensamento revolucionário na ciência moderna. Ele substitui o conceito de efeito inevitável pelo de tendência provável. Sua técnica é separar tanto quanto possível as tendências estabilizadoras das flutuações locais [...] O futuro não mais existe; ele só pode ser predito”.

Oliver Penrose tem manifestado [64] que a Mecânica Estatística é notória pelos problemas conceituais que apresenta, para os quais é difícil dar uma resposta convincente, como são:

- i.) Qual é o significado físico do ensemble de Gibbs?
- ii.) Como se podem justificar os ensembles padrão que se usam na teoria de sistemas em equilíbrio?
- iii.) Quais são os ensembles corretos para sistemas fora do equilíbrio?

iv.) Como é possível reconciliar a reversibilidade do comportamento microscópico com a irreversibilidade do comportamento macroscópico?

A mais, relacionado com o caso de sistemas fora do equilíbrio, Ryogo Kubo nos diz [65] que “a mecânica estatística dos fenômenos não-lineares e de não-equilíbrio está na sua infância e progresso adicional deve ser esperado mantendo íntima cooperação com o experimento”.

O estudo do estado macroscópico dos sistemas fora do equilíbrio apresenta dificuldades imensamente maiores do que as enfrentadas na teoria dos sistemas em equilíbrio. Isto é principalmente devido ao fato de que se requer uma discussão muito mais detalhada para determinar a dependência temporal das quantidades mensuráveis, e a calcular coeficientes de transportes que são dependentes do tempo (i.e. que evoluem junto com o macroestado do sistema no qual estão se desenvolvendo processos dissipativos), assim como dependentes da posição (i.e. associados com as propriedades espaciais locais neste sistema, em geral, não homogêneo). Temos então uma dependência não-local no tempo e no espaço, o que significa presença de efeitos de memória e correlação espacial respectivamente.

Considera-se em geral [66] que as metas básicas da mecânica estatística de não equilíbrio são:

1. Derivar equações de transportes e compreender sua estrutura;
2. Calcular os valores instantâneos e a evolução temporal das quantidades físicas que especificam o estado macroscópico do sistema;

3. Estudar as propriedades dos estados estabilizados (“steady states”);
4. Entender como se realiza a tendência para o equilíbrio nos sistemas naturais isolados.

A mecânica estatística de sistemas fora do equilíbrio tem, tipicamente, seguido duas direções: Uma é a teoria cinética dos gases diluídos, na qual, partindo de umas poucas – porém controvertidas – hipóteses, pode ser obtida uma descrição de como sistemas simples evoluem e se aproximam do equilíbrio (o célebre teorema $\mathcal{H}$ de Boltzmann e sua teoria de transporte). Uma extensão destas idéias ao caso de gases densos tem seguido vários caminhos, como por exemplo, a construção de uma teoria cinética generalizada (veja por exemplo a referência [67]) e a assim chamada de equação da hierarquia BBGKY (veja por exemplo referência [68]). A outra é a generalização do movimento Browniano, no qual as complicadas equações dinâmicas – as assim chamadas de equações de Newton-Langevin generalizadas — que se seguem das leis da Mecânica são acompanhadas de hipóteses estatísticas. A este método pertence, por exemplo, o formalismo das funções de correlação devidas a Mori [69] e alguns aspectos do método das equações mestres [68].

Os enfoques usados para desenvolver uma teoria que envolva o programa dos itens 1 a 4 listados acima, têm sido classificados [65, 70] em cinco categorias:

- a) Técnicas intuitivas;
- b) Técnicas baseadas na generalização da teoria cinética dos gases;
- c) Técnicas baseadas na teoria dos processos estocásticos;

- d) Expansões a partir de um estado inicial de equilíbrio; e
- e) Generalizações do algoritmo dos ensembles de Gibbs.

Este último item (e) está claramente conectado com a questão levantada por Penrose, que já apresentamos previamente, referente à realização de uma escolha apropriada de ensembles para problemas do não-equilíbrio. Nesta questão é que concentraremos nosso interesse no que segue.

Quando recorremos à abordagem de um procedimento estatístico, o estado macroscópico do sistema é dado numa descrição em termos de algum conjunto reduzido de quantidades dinâmicas, digamos $P_1, P_2, \dots, P_n$, com a distribuição de probabilidades do estado mecânico (microscópico) sendo dependentes delas e somente delas: $p(P_1, \dots, P_n; t)$. O estado do sistema ao nível termodinâmico (macroscópico) é caracterizado por um ponto no espaço de fases termodinâmico (ou espaço de estados, ou espaço de Gibbs) composto pelos valores no tempo t das variáveis macroscópicas $Q_1(t), Q_2(t), \dots, Q_n(t)$, que são os valores médios das P_j com a distribuição de probabilidades dada. Temos, para $j = 1, 2, \dots, n$:

$$Q_j(t) = \sum_{\alpha} P_{j\alpha} \rho_{\alpha}(t) \quad (2)$$

i.e., uma soma dos produtos dos valores das quantidades P_j com a probabilidade p no tempo t , onde α é um índice (conjunto de índices no caso mecânico-quântico, ponto no espaço de fases no caso mecânico-clássico) que caracteriza o estado mecânico (microscópico) do sistema. As quantidades P_j mudam no tempo com a evolução microscópica do estado mecânico do sistema, porém o experimento não segue esta evolução microscópica, mas segue os valores numéricos das $Q_j(t)$.

Os resultados do experimento são descritos por um conjunto de equações de evolução das variáveis $Q_j(t)$ como já foi indicado na Eq. (1).

Estas considerações fazem emergir imediatamente várias questões a serem enfrentadas.

1º) Como escolher as macrovariáveis básicas? No momento presente parece não haver uma teoria completamente satisfatória para gerar esta informação de uma forma única. Discutimos o tópico em [Luzzi et al., 71] em relação à construção de um formalismo específico, assim como em conexão com a Termodinâmica Irreversível Fenomenológica (ver também [García-Colín et al., 72], [Luzzi et al., 53]). Este é o problema a que se refere o item (5) previamente listado na parte referente a caracterização do sistema dinâmico.

2º) Como são obtidas as equações de evolução? Há vários enfoques possíveis; no caso de sistemas físicos é imediato: calcula-se a equação de movimento para a quantidade P_j ($j = 1, 2, \dots, n$) promediada sobre o ensemble de não-equilíbrio. Temos formalmente:

$$\frac{d}{dt} Q_j(t) = \sum_{\alpha} P_{j\alpha} \frac{d}{dt} \rho_{\alpha}(t) \quad (3)$$

(A forma “inocente” da equação (3) não mostra a estrutura extremamente complicada das equações de evolução para as macrovariáveis, que constituem um campo específico de estudo denominado, de forma genérica, de Teoria Cinética Quântica não-linear generalizada).

3º) Como determinar as condições iniciais e de contorno? Muitas vezes se introduzem aquelas que pareçam serem razoáveis e apropriadas às análises teóricas. O ideal seria ter acesso experimental a tais condições, porém isto raramente é possível. Assim, em qualquer problema, a particular sensibilidade

dos resultados aos detalhes das condições iniciais e de contorno deve ser cuidadosamente analisada.

Finalmente, temos outra questão fundamental:

4º) Como obter comportamento irreversível na evolução do estado macroscópico do sistema? Esta questão é as vezes referida como a flecha do tempo (Prigogine & Stengers, [3]; Prigogine, [26]; Penrose, [64]; Coveney, [73]; Hawking, [74]; Feynman, [75]; Lestienne, [76]). Para superar este problema, Prigogine propôs o princípio de condição dinâmica para dissipatividade (Prigogine, [77, 78]), que introduz uma teoria com o requerido caráter irreversível na evolução (Prigogine, [26]). A Mecânica Estatística de não-equilíbrio, numa versão unificada [Luzzi et al., 71], incorpora irreversibilidade desde o início na sua construção via uma hipótese ad hoc que faz uma mímica do princípio de Prigogine.

Até aqui estabelecemos as quatro principais dificuldades associadas à uma construção de uma formulação mecano-estatística de não-equilíbrio, mas não discutimos a questão fundamental de como construir a distribuição de probabilidades. Conforme mencionamos, existem várias construções, que podem ser unificadas pelos métodos de raciocínio introduzidos por E.T Jaynes em sua, hoje denominada, Física Estatística Preditiva (Jaynes, [49-52, 79, 80]). Esta abordagem está especialmente baseada no seguinte argumento genérico:

Se qualquer macrofenômeno é reprodutível, então segue-se que todos os detalhes microscópicos que não estão sob o controle do experimentador devem ser irrelevantes para sua previsão e interpretação [...] Nunca conhecemos o microestado; somente uns poucos aspectos do macroestado. Não obstante, o princípio de reprodutibilidade mencionado acima nos convence de que este deve ser suficiente; a informação relevante está ali, se somente

formos capazes de reconhecê-la e usá-la (Jaynes, [49], pp. 256, 258).

Com base nisto, o problema técnico seguinte é, conforme indicado por Jaynes,

como usaremos a Teoria da Probabilidade para ajudar-nos a fazer raciocínios plausíveis em situações onde, por causa de informação incompleta, não podemos usar raciocínio dedutivo (Jaynes, p. 39).

Isto é respondido pelo próprio Jaynes, que formulou o critério de que a escolha de probabilidades menos preconceituosa, para um conjunto de eventos mutuamente exclusivos, é aquela que maximiza a entropia estatística (i.e., dada pelo negativo da soma dos produtos de cada probabilidade individual com seu logaritmo, ver equação (4) adiante) sujeitas aos vínculos impostos pela informação disponível [49-52]).

Temos aqui uma possível conexão com a Teoria da Informação (Shannon & Weaver, [60]; Brillouin, [61]); vamos acrescentar uns poucos comentários sobre o assunto, seguindo Jaynes [49-52]. Esta conexão baseia-se no fato de que a Teoria de Informação proporciona um critério construtivo para obter distribuições de probabilidades com base num conhecimento parcial, e leva a um tipo de estatística por inferência, denominada *estimativa por maximização da entropia estatística*. Esta é a estimativa menos preconceituosa que é possível realizar com a informação dada, i.e., é maximamente neutra com relação à informação perdida. Mostra-se que se considerarmos a Mecânica Estatística como uma forma de inferência estatística, encontramos que as usuais regras de cálculo de propriedades físicas do sistema são uma consequência imediata do princípio

de maximização da entropia estatística. Na resultante Mecânica Estatística Preditiva, [49], as regras derivadas da Mecânica Estatística usual são assim justificadas, e representam a melhor estimativa que se pode fazer com base na informação disponível. Desta forma, eliminam-se certas hipóteses ad hoc que a teoria usual requer, e além disso, é possível manter uma distinção bem marcada entre os aspectos físicos e estatísticos: os primeiros consistem na correta enumeração dos estados mecânicos dos sistema e de suas propriedades, os segundos são um exemplo imediato de inferência estatística.

Diversos autores têm notado a possível conexão entre Mecânica Estatística e Teoria de Informação; porém é essencial notar que o mero fato de que a mesma expressão matemática aparece em ambas para a função chamada de entropia nas duas disciplinas, a saber:

$$S = -k \sum_{\alpha} \rho_{\alpha} \ln \rho_{\alpha} \quad (4)$$

onde ρ_{α} é a probabilidade do evento α e k um coeficiente de proporcionalidade, per se não estabelece qualquer conexão entre elas. Essa conexão só pode ser feita encontrando pontos de vista a partir dos quais ambas entropias correspondam ao mesmo conceito.

Para detalhes sobre a construção da Mecânica Estatística Preditiva referimos o leitor aos trabalhos de Jaynes [49-52, 79, 80], e que como previamente notado, o enfoque está ligado à chamada escola Bayesiana (antigamente referida como subjetiva) de probabilidades, que considera as probabilidades como expressões de ignorância humana: a probabilidade de um evento é simplesmente a expressão formal da nossa expectativa do evento ocorrer, baseados em qualquer que seja a informação disponível. O prêmio Nobel Philip Anderson sustenta, de fato, que o que aparece mais

apropriado em Teoria das Probabilidades para uso em ciência é o enfoque bayesiano:

A interpretação bayesiana em probabilidade é o grau de confiança que é consistente com manter que uma proposição seja correta de acordo com o fato de aceitar que outras proposições condicionantes sejam consideradas certas. O que o enfoque bayesiano faz é focalizar nossa atenção sobre a questão que queremos aplicar aos dados existentes. Ele diz, de fato: como estes dados afetam meu conhecimento prévio da situação? Isto é às vezes denominado o princípio de pensamento de máxima probabilidade (*maximum likelihood thinking*), mas a essência é a de claramente identificar as respostas possíveis, distribuindo entre elas razoáveis probabilidades a priori e, a seguir, perguntar quais respostas resultam as mais prováveis em termos dos dados existentes (Anderson, [81]).

Vamos então ao problema crucial que é o de encontrar a distribuição de probabilidades que consideramos a mais apropriada e “honesta”, i.e., que evita incluir informação preconceituosa ao levar em conta a informação disponível. Seguindo Jaynes, a quantidade S da equação (4) é interpretada como a “quantidade de incerteza” representada pela distribuição de probabilidades (no caso da Mecânica Estatística padrão, representa a entropia do sistema em termos dos estados mecano-quânticos acessíveis ao sistema sob as condições macroscópicas impostas). Torna-se então intuitivo admitir que a distribuição de probabilidades que maximiza S da equação (4), sujeita aos vínculos que representam a informação que temos, proporciona a mais honesta descrição do nosso conhecimento do sistema, ao

nível macroscópico. Por este processo podemos talvez dizer que a probabilidade é distribuída (coloquialmente falando, “esparramada”) tão amplamente quanto possível, sem contradizer a informação disponível.

Assim, o problema parece resolvido: fazer inferência com base na informação parcial requer usar a distribuição de probabilidades que maximiza a entropia estatística S sujeitas aos vínculos impostos pelo conhecimento parcial do estado do sistema. Outra escolha implicaria em introduzir a informação que por hipótese não temos. Está estabelecido o Princípio de Maximização da Entropia Estatística (“MaxEnt”, de forma abreviada).

O MaxEnt permite recuperar completamente todos os resultados da usual e bem estabelecida Mecânica Estatística de equilíbrio, sendo que o princípio se torna rigoroso pelo fato de que no limite termodinâmico (sistemas muito grandes) a expressão da equação (4) se equivale à entropia de um sistema isolado, para valores das quantidades físicas iguais aos valores médios fixados pela condições de vínculos, e o equilíbrio corresponde ao máximo da entropia, de acordo com a segunda lei da termodinâmica. O MaxEnt também permite recuperar os resultados da Termodinâmica de não-equilíbrio linear. Isto sugere sua generalização: o MaxEnt é precisamente o princípio variacional que como já foi dito, proporciona um arcabouço teórico unificado para a Mecânica Estatística de não-equilíbrio.

Uma vez que a distribuição de probabilidades é obtida, podemos construir as equações de evolução das variáveis básicas, permitindo assim seguir a evolução do estado macroscópico do sistema. Essas equações adquirem, como já foi dito [cf. considerações após equação (1)], uma forma com uma estrutura muito complicada. Não podemos entrar em detalhes aqui, sendo suficiente dizer que o uso apropriados de certas condições de

simetria (que separam os processos de relaxação rápidos daqueles lentos) permite escrever as equações na forma de uma série infinita de termos organizados em contribuições que descrevem colisões a duas, a três, a quatro etc., partículas. Em termos técnicos, por causa da forma das equações de evolução, neste tratamento a Teoria de Transporte (evolução) não-linear derivada do MaxEnt pode ser considerada uma vasta generalização da Teoria de Transporte de Boltzmann (Zwanzig, [65, 70]) e também do método de Mori (Madureira et al., [82]), capaz de lidar com sistemas em condições completamente arbitrárias de afastamento do equilíbrio, quando governados por equações altamente não-lineares.

Construídas, dentro do formalismo, as equações de evolução do tipo das equações (1), pelo caminho de cálculo mecano-estatístico estabelecido pelas equações (3), o estado macroscópico do sistema e sua evolução é então determinado pela solução dessas equações. A estabilidade do ramo termodinâmico de soluções (estável, como já foi dito, no regime perto do equilíbrio) é testada contra a emergência de soluções auto-organizadas ao nível macroscópico, o que pode ser feito por métodos matemáticos usuais (análise de modos normais), cuja manifestação física, conforme mencionado, é o critério de estabilidade (ou instabilidade) de Glansdorff & Prigogine [31], contido no Maxent (Tenan et al., [83]). A instabilidade, se existir, se dá, como já insistimos previamente, a uma certa distância longe do equilíbrio, quando surge um ponto de bifurcação na solução do ramo termodinâmico, acompanhada de algum tipo de quebra de simetria. Repetimos que é condição necessária que as equações de evolução sejam não-lineares (i.e., contenham efeitos auto-catalíticos sinérgicos), que o sistema seja aberto, i.e., entropia deve ser bombeada para o exterior para permitir o aumento de ordem que acontece na transição. Após identificada a

bifurcação, trabalho adicional é necessário para descrever a nova estrutura dissipativa.

Assim, o MaxEnt, como manifestamos anteriormente, é apropriado para tratar teoricamente a partir do nível microscópico as estruturas dissipativas de Prigogine em sistemas complexos, proporcionando fundamentos mecano-estatístico para as teorias fenomenológicas existentes. Esta é certamente uma questão teórica muito interessante e atraente e que merece maiores considerações.

Comentamos que nosso Grupo de pesquisa, dentre de seus interesses na área de Mecânica Estatística de sistemas dissipativos e Física de semicondutores altamente excitados, tem paralelamente dado alguma atenção à aplicação do método estatístico de sistemas fora do equilíbrio, derivado do MaxEnt, à possibilidade de estudo de estruturas dissipativas em sistemas semicondutores e sistemas biológicos modelados (ver referências [27] e Apêndices IV.6 e IV.7).

Retomemos especificamente a questão da Mecânica Estatística de Sistemas Dissipativos.

Na ausência de um método do tipo dos ensembles de Gibbs por um longo tempo recorreu-se a diferentes teorias cinéticas, com sucesso variável, para tratar a grande variedades de fenômenos de não-equilíbrio que ocorrem nos sistemas físicos na natureza. Um protótipo, e um de grande sucesso, tem sido a famosa teoria do transporte de Boltzmann. Sobre ela Lebowitz e Montroll [84] têm muito corretamente comentado que “a bela elegância da equação [de Boltzmann], tão fácil de derivar intuitivamente e tão difícil de justificar rigorosamente, é tão impressionante hoje como o foi a mais de cem anos, quando ela surgiu como Minerva completamente armada da cabeça de Júpiter.” Presentemente parece haver fundamentos para proporcionar apropriados ensembles de não-equilíbrio, para cobrir

condições bastante gerais de afastamento do equilíbrio e baseados em princípios sólidos: é o que denominaremos o Método do Operador Estatístico de Não-Equilíbrio (MOENE por brevidade). O MOENE proporciona uma técnica muito promissora que implica em generalizações de muito longo alcance dos métodos analíticos desenvolvidos por Boltzmann e Gibbs. Pode considerar-se que o MOENE pertence a um amplo e moderno esquema de extensão da mecânica estatística que é a Mecânica Estatística Predictiva (MEP) devida a Edwin T. Jaynes, e que procedemos a discutir brevemente, e no **Apêndice IV.8** reproduzimos um específico artigo de Jaynes sobre MaxEnt.

MEP é um poderoso formalismo baseado em inferência Bayesiana na teoria de probabilidade, e pode ser considerado um novo paradigma em ciências . Se inicia com a pergunta devida a Jaynes: Quais são as formas teoricamente válidas e pragmaticamente úteis de aplicar teoria de probabilidade em ciência? A resposta começou com Laplace, porém considera-se que uma síntese é mais recente, com uma proposição completa dada por Sir Harold Jeffreys. Este autor especificou a filosofia corretamente pela primeira vez; e, em continuação, procedeu a desenvolver ao mesmo tempo a teoria matemática e suas implementações práticas numa ampla construção. De acordo com Jeffreys (*Theory of Probability*, 1964) “O problema fundamental na vida do dia a dia, é aquele de aprender a partir da experiência. O conhecimento obtido desta forma é parcialmente simples descrição do que temos já observado, porém parte consiste em fazer inferência a partir de experiências passadas para predizer experiências futuras. Esta parte pode ser chamada de generalização ou indução. É a parte mais importante [...] É um fato que nosso grau de confiança numa proposição habitualmente muda quando fazemos novas observações, ou nova evidência nos é comunicada por alguém, e esta mudança constitui o

aspecto essencial de todo conhecimento através da experiência. Devemos ser capazes de poder expressá-lo”.

No esquema de Jeffreys-Laplace, como mantido por Edwin Jaynes [49-52, 79, 80] e Philip Anderson [81], o mais apropriado enfoque probabilístico para as ciências é o Bayesiano. A interpretação Bayesiana é que a probabilidade é o grau de confiança que é consistente em esperar a ocorrência de um evento, na base de que outras proposições condicionantes sejam dadas a priori. A mesma é às vezes referida como teoria subjetivista (ou personalista pelo seu conteúdo antropomórfico), em oposição à teoria frequencista, dita objetivista. Esta última é a usualmente introduzida nos cursos, sendo a que mantém que a frequência (número de casos prováveis dividido pelo número de casos possíveis) de eventos repetitivos é o que deve estar em concordância com a teoria matemática referente à probabilidade de eventos aleatórios independentemente repetidos.

Obviamente há controvérsia entre ambas escolas, a objetivista e a subjetivista, e também em relação ao uso da estatística em ciência. É conhecida a frase, “Há três tipos de mentiras: as mentiras piedosas, que são justificáveis, as mentiras comuns, que não são justificáveis, e a estatística” (Ao que parece citada por Mark Twain como devida ao famoso estadista inglês Disraeli). Porém, à frase já mencionada previamente devida a Bronowski, pode ser acrescentada à devida a von Mises: “partindo de observações estatísticas e aplicando a elas um conceito claro e preciso de probabilidade, é possível se chegar a conclusões que são tão fidedignas e “verdadeiras” e tão úteis na prática como aquelas obtidas em qualquer ciência exata”. Ciência é uma criação do intelecto humano, e assim o enfoque Bayesiano aparece como o mais apropriado – como já foi dito – já que a subjetividade do indivíduo (o observador) está sempre presente, e, como manifestado por Jaynes, não é satisfatório “procurar suprimir toda

menção à informação humana por ser “subjettiva”. Ora, a informação humana é tudo o que temos, e é bem melhor reconhecer este fato”.

De acordo com Anderson [81], “O que a teoria faz é focalizar nossa atenção sobre a questão que queremos perguntar aos dados: Ela diz de fato, como estes dados afetam meu conhecimento prévio da situação? Isto é às vezes chamado de pensamento de máxima verossimilhança, mas a essência dele é o de claramente identificar as respostas possíveis, adjudicando razoáveis probabilidade a priori a elas e em continuação perguntar quais respostas têm sido feitas mais prováveis pelos dados.”

A Mecânica Estatística Preditiva tem o conceito Bayesiano no seu núcleo, estabelecendo que uma teoria estatística deve ser construída somente na base do acesso à informação relevante que se possui sobre o sistema em consideração. Como apontado por Jaynes, “Como podemos melhor pensar acerca da Natureza e predizer seu comportamento o melhor possível, dado somente nosso conhecimento incompleto [dos detalhes do sistema]. Devemos ver isto, não como um exemplo da dinâmica de N corpos, porém como um exemplo da lógica da inferência científica, a qual evita todos os detalhes indo diretamente da informação macroscópica que possuímos para a melhor predição microscópica que podemos obter com tal informação [...] A Mecânica Estatística Predictiva não é uma teoria física, mas um método de raciocínio que completa esse objetivo, não a partir das coisas particulares que as equações de movimento dizem em cada caso particular, porém das coisas gerais, que nos dizem em “quase todos” os casos consistentes com nossa informação; porque estas são as coisas reprodutíveis.”

Mais uma vez seguindo o raciocínio de Jaynes, a construção de um enfoque estatístico deve ser baseado em “um princípio bastante básico [...]: Se um macrofenômeno é reprodutível, então, segue-se que todos os detalhes

microscópicos que não estão sob o controle do experimentador devem ser irrelevantes para o compreender e prever”. A mais, a dificuldade de predição a partir dos microestados radica [...] na nossa própria falta de informação necessária para aplicar-lhes. Nunca conhecemos o microestado, somente uns poucos aspectos do macroestado. Contudo, o princípio acima mencionado de reprodutibilidade [macroscópica] nos convence e que isto deve ser suficiente; a informação relevante está ali e devemos ver como reconhecê-la e usá-la.”

Isto reconhecido, surge o problema fundamental de construção do MEP, ou, como posto por Jaynes: “Como usaremos teoria de probabilidade para realizar raciocínios plausíveis em situação nas quais, por causa de termos informação incompleta não podemos usar raciocínio dedutivo.” Em outras palavras, a principal questão associada com este enfoque é como obter a especificação das probabilidades compatível com a informação disponível enquanto se evita fazer suposições sem justificação. Uma resposta é a proposta por Jaynes, quem formula o critério de [49-52, 79, 80] que a especificação das probabilidades $\{\rho_j\}$ para um conjunto de eventos mutuamente exclusivos $\{x_j\}$, é a que maximiza a quantidade da Equação (4), sujeita aos vínculos impostos pela informação disponível. Esta quantidade S_I é às vezes chamada de entropia de Shannon-Jaynes, e o critério está baseado nas idéias de Shannon [60], quem demonstrou que para um conjunto exaustivo de proposições mutuamente exclusivas, existe uma única função, S_I , medindo a incerteza das probabilidades assinaladas. Este é o princípio variacional, que proporciona um esquema teórico unificado para a construção do MOENE no arcabouço da MEP. Este critério é conhecido como o critério de maximização da entropia (estatística-informacional), MaxEnt, por brevidade.

O fato de que uma certa distribuição de probabilidade maximiza a entropia informacional, sujeita a certos vínculos representando nossa informação incompleta, é a propriedade fundamental que justifica o uso da distribuição por inferência; ela está de acordo com tudo que é efetivamente conhecido, porém evita cuidadosamente supor qualquer coisa que não seja conhecida. Desta forma implanta, ou melhor, dá um enfoque lógico-matemático, ao princípio de sensatez, e que realiza automaticamente a necessária síntese dos pontos de vista de Gibbs e Jeffreys. De fato, o algoritmo dos ensembles de Gibbs para sistemas em equilíbrio é recuperado de forma muito simples, assim como a usual teoria linear da resposta.

Assim, usando o enfoque de Jeffreys, dá-se uma justificativa aos métodos de Gibbs, que é muito mais clara conceitualmente, e muito mais simples matematicamente, que os longos e não muito conclusivos argumentos que são usualmente oferecidos nos manuais de ensino. É imediato compreender que é um enfoque muito mais geralmente aplicável por causa da sua liberdade de hipóteses como a de ergodicidade. Mais precisamente, desta forma se inverte o usual ponto de vista em relação à ergodicidade. Quando a meta da Mecânica Estatística foi vista como aquela de prever as leis da Termodinâmica pelo raciocínio dedutivo a partir das equações microscópicas do movimento, foi mantido que ergodicidade era necessária para justificar o uso de ensemble microcanônico. Vemos agora a situação muito diferente: Tão logo consideramos estas metas de inferência a partir de informação incompleta em lugar de dedução, então, se um sistema é ou não ergódico é irrelevante, já que a distribuição via MaxEnt ainda representa as melhores previsões que somos capazes de fazer a partir da informação que temos.

Isto é muito satisfatório; ergodicidade em certa forma se associa à interpretação da mecânica estatística ao nível mecanicista que, já

discutimos, é limitado. Pelo contrário, pelo enfoque Bayesiano passa ao nível macroscópico que, como vimos, aparece como a fronteira em expansão na Física. Neste aspecto o MaxEnt poderia ser encarado como um macroconceito no sentido de Fröhlich [29], a que nos referimos no início destas notas. Também o método vai além da física e se estende por todas as ciências e disciplinas que tratem com sistemas dinâmicos[17]. Como comentado por Jaynes, é incrível descobrir a grande quantidade de casos mostrando notáveis melhoras nos resultados obtidos pelo método em relação aos métodos estatísticos “ortodoxos”. Também, assim como a complexidade dos problemas aumenta (e já temos enfatizado a relevância da teoria da complexidade!), mais aparece como vantajoso o método Bayesiano dentro do enfoque lógico de Jeffreys, que, como apontado por Anderson [81], no futuro resultará numa necessidade prática para todos os pesquisadores nas ciências quantitativas.

Resumindo, como manifestado por Jaynes, A teoria da Probabilidade é uma ferramenta versátil, a qual pode servir múltiplos propósitos. Pode esclarecer notáveis mistérios na física teórica ao elevar nossos padrões de lógica. Como James Clerk Maxwell escreveu há mais de cem anos e Harold Jeffreys apontou há mais de cinquenta anos, “*teoria da probabilidade é a verdadeira lógica da física* [ênfase nossa] [...] Mistérios científicos são esclarecidos, e os paradoxos se convertem em banalidades, quando adotamos o ponto de vista de Jeffreys. Uma vez que se percebe a lógica da questão, resulta evidente que há muitos outros mistérios, em todas as ciências, requerendo o mesmo tratamento.”

Construção do MaxEnt – MOENE

Consideremos em continuação a questão da construção MaxEnt-MOENE. O primeiro e fundamental passo, é a escolha do conjunto básico de variáveis que se considere apropriado para a caracterização do estado macroscópico do sistema. Está envolvido nisto uma descrição contraída (macroscópica ou mesoscópica em lugar da mecânica microscópica), em termos de, digamos, o conjunto de variáveis dinâmicas $\{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ (operadores Hermitianos na Mecânica Quântica ou funções definidas sobre o espaço de fases da Mecânica Clássica). O operador estatístico no MaxEnt-MOENE será um funcional destas quantidades, a ser denominado por brevidade de MaxEnt-OENE e representado como $\rho(t)$. O estado termodinâmico (macroscópico ou mesoscópico) é caracterizado por um ponto no chamado espaço de Gibbs (ou espaço de fases, ou de estados termodinâmico), dado ao tempo t , pelo conjunto de macrovariáveis $\{Q_1(t), Q_2(t), \dots, Q_n(t)\}$, onde $Q_j(t)$ é a média de P_j , i.e. $Q_j(t) = \text{Tr} \{P_j \rho(t)\}$ (Tr é a usual designação da operação matemática de traço). Embora não indicado, as quantidades P_j e Q_j podem depender da posição “r”, i.e. serem densidades locais. As quantidades P_j mudam com a evolução do estado mecânico do sistema (mudanças governadas pelas equações de Hamilton ou pelas equações de Heisenberg nos casos clássico e quântico respectivamente), porém num experimento, não seguimos, com o aparelho de medida, esta evolução microscópica, mas os valores das variáveis $Q_j(t)$. Os resultados de tal experimento são descritos por equações de evolução da forma da Equação (1).

Nelas as funcionais Φ_j são, em geral, não lineares nas variáveis de estado Q_j , não locais no espaço (i.e., incluindo correlações espaciais) e não locais no tempo (i.e. carregando efeitos da memória, ou melhor, dependendo da história passada do estado macroscópico do sistema desde o tempo t_0 quando o experimento começa até o tempo t quando uma medida é realizada).

Estas considerações fazem surgir imediatamente várias questões, já previamente mencionadas e que retomamos aqui, e que são:

1. Como escolher as variáveis básicas? Presentemente não há uma teoria completamente satisfatória para gerar esta informação de modo a fazer uma decisão única. Tem sido sugerido que este conjunto básico de variáveis deve incluir todas as integrais de movimento aproximadas (ou seja, variáveis quase-invariantes), como é o caso no MaxEnt-MOENE como veremos mais adiante.
2. Como obter a Equação (1) ? Em outras palavras, qual é a forma das equações não-lineares de evolução para as macrovariáveis Q_j . Há várias tentativas associadas às diferentes técnicas a que já nos referimos previamente nestas notas. No MaxEnt-MOENE a resposta é imediata: uma vez que o operador estatístico está construído, as equações da evolução são a média estatística das equações mecânicas de movimento das quantidades P_j .
3. A questão das condições iniciais. As equações de evolução, Equação (1), são de primeira ordem na derivada temporal e, conseqüentemente, requerem de uma condição inicial para obtermos uma solução única. Muitas vezes isto é feito usando condições iniciais que aparecem como razoáveis e bem adaptadas para a análise teórica. O ideal seria ter acesso experimental a todos estes valores, porém isto raramente é possível. Assim, em qualquer problema particular, a sensibilidade dos resultados aos detalhes das condições iniciais deve ser cuidadosamente considerada. A mais, claro, quando há dependência na variável espacial, se faz também necessário providenciar condições de contorno.

Finalmente, deve ser notada a importantíssima questão de conciliar a reversibilidade no tempo das equações da mecânica microscópica, com a irreversibilidade termodinâmica macroscópica, ou seja,

4. Como obter comportamento irreversível na evolução do estado macroscópico do sistema? Isto costuma ser referido como o problema da flecha do tempo (vide por exemplo as referências [26, 73-76]). No MaxEnt-MOENE, a irreversibilidade é incorporada desde o início através de uma hipótese ad hoc.

No MaxEnt-MOENE, a escolha das variáveis de base depende de cada problema concreto a ser considerado. Um importante guia é o processo de contração da descrição (ou princípio de enfraquecimento de correlações) devido a Bogoliubov

[85]. Está baseada na existência de uma hierarquia de tempos relaxação, significando, de acordo com este ponto de vista, que uma sucessão de descrições contraídas (i.e. com decrescente número n de quantidades P_j) é possível se existe uma sucessão de tempos e relaxação tal que após cada um ter transcorrido, correlações com tempos de vida menores que esta escala de tempo, se extingam e possam ser ignoradas; consequentemente, um conjunto encurtado de variáveis de base pode ser usado para se obter uma descrição do macroestado do sistema. Em geral, imediatamente após o afastamento inicial do sistema do seu estado de equilíbrio, este estado de não equilíbrio do sistema de muitos corpos estará determinado por tantas variáveis quanto o seu número de graus de liberdade. Consideremos agora, o tempo de interação de cada partícula, ou o tempo de uma dada colisão, usualmente denominado de tempo para microrandomização. Após este tempo ter transcorrido, um tipo de atenuação no comportamento de sistema deve seguir-se: os detalhes da informação inicial são perdidos, e podemos esperar que o macroestado do

sistema venha a ser especificado por um número bem menor de variáveis que aquelas necessárias nos primeiros instantes. Isto define uma descrição contraída, chamada de primeiro estágio cinético. O processo de redução do conjunto de variáveis básicas procede na seqüência dos resultantes intervalos de tempo, quando correlações adicionais morrem, e parte das variáveis que se faziam necessárias à descrição do sistema resultam ou desnecessárias, ou dependentes no resto ou numas poucas novas. Tais contrações são então determinadas pelo espectro de tempos de relaxação do sistema envolvido (exemplos ilustrativos podem ser consultados nas referências [86, 87]).

Uhlenbeck [88] tem apontado que seria sugestivo considerar que as sucessivas contrações da descrição são um aspecto essencial da teoria dos processos irreversíveis, e que, se tal contração é possível, ela deve ser uma propriedade básica das equações do sistema. Este é o caso no MaxEnt-MOENE, como contido nas idéias avançadas dentre outros, por Mori [89], Zubarev [90], e Peletninskii [91]. Os detalhes deixamos para o leitor ver na referência [71, 92], comentamos somente que o processo se baseia na separação, na análise dinâmica do sistema, da parte das interações fortes que têm associadas tempos de relaxação muito curtos (significando aqueles menores que o tempo característico do experimento), de aqueles que têm tempo de relaxação muito longos. Tal separação é complementada com uma certa regra chamada condições de simetria de Zubarev-Peletninskii, de tal forma de se ter uma condição de fechamento para a escolha do conjunto de variáveis básicas.

Uma vez escolhido de tal forma o conjunto básico $\{P_j\}$, o operador estatístico é construído dentro do formalismo, contudo, como já foi dito, dentro da MEP de Jaynes, utilizando o princípio MaxEnt incluindo efeitos de memória e não locais de espaço, assim como uma hipótese ad hoc que introduz desde o início evolução irreversível a partir de uma condição inicial de preparação do

sistema [71, 92]. O procedimento introduz uma mímica da condição dinâmica para dissipatividade imposta por Prigogine [77, 78] como uma forma de introduzir a flecha do tempo na dinâmica. Ele consiste numa operação forçada de quebra de simetria baseada no método de Bogoliubov de quase-médias [85]. Este processo utiliza-se para introduzir a remoção de degenerescências associadas a um ou vários grupos de transformação na descrição do sistema: no caso presente é a quebra da simetria de inversão temporal da descrição mecânica.

Completada a construção do operador estatístico (com os detalhes, como já foi indicado, descritos nas referências [71, 79] no domínio do MaxEnt-MOENE, se dispõe assim de um algoritmo na MEP, que pode ser considerado uma vasta generalização dos métodos de Gibbs e Boltzmann. Em princípio parece cobrir situações bem gerais de não-equilíbrio em sistemas de muitos corpos. Sem incluir descrições (que podem ser vistas nas referências a serem indicadas em continuação), indicamos que o MaxEnt-MOENE proporciona: (1) Uma teoria da resposta para sistema longe do equilíbrio[93], (2) Uma teoria generalizada de transporte de longo alcance, a qual incorpora não-linearidade e não-localidade no espaço e no tempo (i.e. correlações espaciais e efeitos de memória respectivamente), que pode cobrir situações de não-equilíbrio completamente arbitrárias em sistemas de muitos corpos[94], e que pode considerar-se [95, 82] uma muito larga extensão das teorias de Boltzmann e Mori, (3) Uma hidrodinâmica generalizada para situações sem restrições em comprimento de onda e frequência e condições de não-equilíbrio (aplicações são apresentadas nos artigos da referência [89]).

Termodinâmica Estatística Informacional

Indo além , o método proporciona fundamentos para a construção, a nível microscópico, de uma teoria termodinâmica de bastante generalidade, para a qual cunha-se o nome de Termodinâmica Estatística Informacional (TEI, que já tínhamos mencionados anteriormente). Este termo TEI é assim aplicado à teoria termodinâmica baseada na MEP de Jaynes com o companheiro princípio do MaxEnt. Na construção da TEI, se introduz uma função de estado, a entropia MaxEnt-MOENE, para o sistema que é dependente numa distribuição de probabilidades de grão-grosso apropriadamente expressa em termos das variáveis básicas. As principais propriedades desta entropia MaxEnt-MOENE é que ela tem associada uma forma diferencial linear nas variáveis básicas (i.e. constitui uma relação de Gibbs generalizada), e que sua derivada temporal, a função de produção de entropia MaxEnt-MOENE pode ser considerada como uma extensão natural das funções de produção de entropia das formulações fenomenológicas (como a Termodinâmica Irreversível Estendida). Esta produção de entropia é definida semipositiva no regime linear ao redor do equilíbrio, porém, até o presente, não achamos a forma de determinar o seu sinal para o caso geral de sistemas arbitrariamente longe do equilíbrio, exceto por uma lei que denominamos de condição fraca para a produção de entropia MaxEnt-MOENE, ou teorema H generalizado[96]. Pode ser mostrado que a construção da TEI em MaxEnt-MOENE envolve o que pode ser considerado como uma larga generalização da clássica teoria dos momentos de Grad [97] na teoria de transportes de Boltzmann-Chapman-Enskog. Discute-se a questão da validade de processos de truncamento na série infinita de momentos acoplados, necessária para o uso prático da teoria, o que requer a procura de um apropriado parâmetro de expansão [98]. A extensão e alcance da TEI está sendo analisada numa série de diferentes artigos[99].

É mostrado que ao nível mecânico-estatístico, seguem-se os resultados conhecidos ao nível fenomenológico [83] do princípio termodinâmico de evolução de Glansdorff-Prigogine, o princípio de (in)estabilidade de Glansdorff-Prigogine, e o princípio de mínima produção de entropia no regime linear de Prigogine. É interessante ressaltar que, no método, eles são consequências do MaxEnt, que implica em convexidade da função entropia estatística/informacional, levando para essas propriedades associadas com a função produção de entropia estatístico informacional.

Delicados aspectos da teoria devem ser considerados. Um, associado com a questão da escolha do espaço de estados, é o de constatar como se manifesta no domínio da TEI o, assim chamado, princípio de complementaridade de Rosenfeld, entre mecânica e termodinâmica, e sua caracterização (vide **Apêndice IV.9**). Por outro lado, há problemas conceituais associados que requerem ser enfrentados. Entropia e temperatura são conceitos bem estabelecidos em termodinâmica de equilíbrio, porém esquivos no caso do não-equilíbrio. Podem ser introduzidos em TEI — com seus limites para o equilíbrio e no regime linear de Onsager sendo recuperados — mas a relação da produção de entropia MaxEnt-MOENE com o calor não compensado de Clausius não está ainda esclarecida. Pode ser mostrado que, consistente com a hierarquia de tempos de relaxação de Bogoliubov, a que já nos referimos, e as conseqüentes descrições contraídas do estado macroscópico do sistema que se seguem, é possível introduzir o conceito de temperatura de não-equilíbrio (que preferimos denominar de quasi-temperatura) para os diferentes subsistemas da amostra. O ponto importante é que pode ser determinada experimentalmente (e.g. por meio do estudo de propriedades óticas de semicondutores altamente excitados), podendo-se, desta forma, obter medidas da temperatura de não-equilíbrio que o método define [100]. É confirmada a dependência esperada desta quasi-temperatura com os fluxos irreversíveis que se desenvolvem no

sistema fora do equilíbrio. A evidência desta dependência parece ser confirmada a partir de experimentos de modulação espectroscópica em semicondutores [101]. Finalmente, à questão do sinal da função produção de entropia MaxEnt-MOENE em condições gerais e a existência de um teorema H , já têm sido comentadas previamente (vide também referência [53]).

OUTROS ASPECTOS

Até aqui temos nos concentrado no caso dos sistemas dinâmicos de muitos corpos nas ciências naturais (físicas, químicas, biológicas). Como já temos indicado o estudo dos aspectos macroscópicos destes sistemas requer ir além do esquema mecanicista-reducionista que predominou nessas ciências por um longo tempo. Citando a Prigogine: “Acreditar na ‘simplicidade do nível microscópico pertence ao passado[...] Estou convencido de que estamos no meio de uma revolução científica. [Um particular aspecto é] que os organismos vivos são objetos longe do equilíbrio separados por instabilidades do mundo do equilíbrio, e que os organismos vivos são necessariamente objetos macroscópicos ‘amplos’ requerendo um estado coerente da matéria para ser possível a vida se perpetuar. Estas características gerais devem ser incorporadas ao tentar responder à questão: Qual é o significado de nossa descrição do mundo físico, isto é, desde que ponto de vista devemos descrevê-lo? A resposta pode ser somente que começamos no nível macroscópico, e todos os resultados das nossas medidas, ainda aquelas do mundo microscópico, em algum ponto devem voltar a referir-se ao nível macroscópico.”

Como procuramos até aqui mostrar, uma muito boa dose de progresso tem sido obtida no reino das ciências naturais. Isto é o resultado do contínuo crescimento — ao que já nos referimos — da Termodinâmica irreversível dos processos não-lineares em sistemas fora (perto ou longe) do equilíbrio. A Termodinâmica não-linear dos fenômenos dissipativos é um membro do que pode definir-se como uma ‘Trindade Sagrada’ na física de nossa Biosfera — que nos deu origem e nos mantém! —, trindade completada pela Mecânica e Eletrodinâmica. A conexão das três é feita, como sabido, pela Física Estatística.

Porém tal satisfatória, e continuamente desenvolvidas situações nas Ciências Naturais está, aparentemente, só começando nas Ciências Sociais.

Não nos estenderemos aqui sobre este ponto que é parcialmente considerado no artigo reproduzido no **Apêndice IV.10**: Nesse artigo é considerado em particular uma aplicação em Sociologia. Com base no MaxEnt-NESOM é desenvolvida uma teoria estocástica aplicável ao problema de formação de opinião em grupos sociais em interação. Por 'brincadeira', a teoria aplica-se ao estudo da eleição presidencial de 1994 no Brasil [102].

Com isto encerraremos este Capítulo, e com ele a *Trilogia* apresentada: *Complexidade/Auto-Organização/Informação*; em continuação no próximo Capítulo incluímos algumas considerações finais.

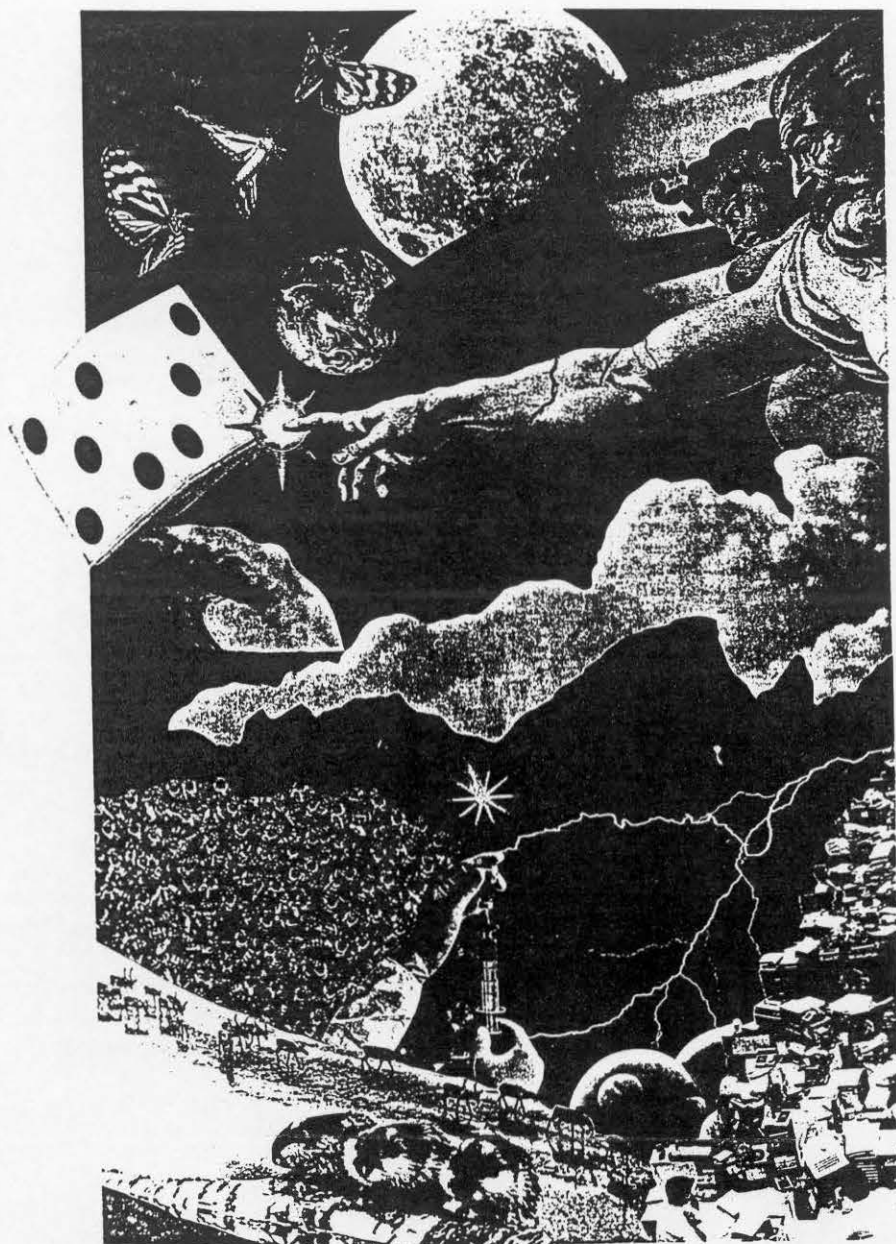
POSFÁCIO

Que dios detrás de Dios la trama empieze
De polvo y tiempo y sueño y agonía?

Jorge Luis Borge (1899-1886)

El Hacedor

(Emece, Buenos Aires, 1960).



POSFÁCIO

Dedicamos os três prévios Capítulos à, como já dito, 'Trilogia: Complexidade/Auto-organização/Informação', que tem sido objeto dos estudos dos Seminários pluri-disciplinares organizados por Michel Debrun no Centro de Lógica e Epistemologia da Unicamp.

No capítulo I apresentamos alguns comentários gerais sobre o, supostamente, emergente paradigma da Teoria da Complexidade, assim como referimos o leitor a certas manifestações de diversos autores — incluídas nos Apêndices —, incluindo algumas críticas. Uma certa atenção foi focalizada no fato de que esta teoria da complexidade depende fundamentalmente na não linearidade das leis cinéticas que governam o comportamento dos sistemas naturais. Estas não linearidade têm um papel relevante no comportamento de sistemas abertos em condições suficiente longe do equilíbrio, o que pode levar à formação de estruturas dissipativas (na terminologia de Prigogine) auto-organizadas e ordenadas ao nível macroscópico.

Aqui se faz conexão com o Capítulo II, ou seja a questão da auto-organização em sistemas dinâmicos. No caso das ciências naturais, esta questão das estruturas dissipativas pertence ao domínio da Termodinâmica, quando a termodinâmica dos processos irreversíveis longe do equilíbrio tem levado à descoberta de que os fluxos passando através de certos sistemas físico-químicos, deslocando a estes do equilíbrio, podem dar lugar aos fenômenos de auto-organização espontânea, quebra de simetria, e uma crescente tendência para a complexidade e diversidade, com todas as conseqüentes possibilidades de que tal comportamento possa proporcionar em, a mais dos sistemas físico-químicos, todos os sistemas dinâmicos como os

biológicos assim como os sociais. Dissipação, contrário ao que antigamente se pensava, não é uma fonte de decaimento porém, e deve ser enfatizado, tem um papel construtivo com talvez incluindo a emergência da vida, a evolução na natureza, e o incrível funcionamento dos sistemas vivos.

Por estas razões tem sido manifestado que “... nossa visão da Natureza está sofrendo uma mudança para o múltiplo, o temporal, e o complexo. Curiosamente, a esperada complexidade que tem sido descoberta na Natureza não tem levado para um retardo no progresso da ciência mas, pelo contrário, para a emergência de novas estruturas conceituais que hoje parecem ser essenciais para o nosso entendimento do mundo físico — o mundo que nos inclui [...] Na verdade hoje estamos começando a ir além do [...] mundo da quantidade para o mundo das qualidades e assim do devenir [...] Acreditamos que é precisamente esta transição para uma nova descrição que faz tão excitante este momento na história da ciência. Quiçá não seja um exagero dizer que uma nova visão da Natureza está nascendo”.

O aspecto da coerência nas estruturas dissipativas é notável. O sistema se comporta como um todo: é estruturado como se cada componente fosse “informada” sobre o estado completo do sistema. O mecanismo geral que é capaz de produzir uma quebra de simetria (a nova estrutura ordenada) está conectado com propriedades de transporte e/ou reações químicas. Um novo conceito de organização se requer para conectar os vários níveis de descrição e dar conta das relações entre o todo e as partes. É de interesse notar que as estruturas nos sistemas complexos emergindo nos pontos de bifurcação (onde as flutuações jogam um papel fundamental) parece ter sido previsto pelo genial James Clerk Maxwell, há mais de um século, que apontou que “Toda existência acima de um certo nível tem seus pontos singulares. Nestes pontos a influência de efeitos cuja magnitude física é muito pequena para ser levada em conta por um corpo finito pode vir a produzir resultados da maior relevância”.

Também, em conexão com o comportamento sinérgico das estruturas dissipativas, é interessante mencionar a afirmação de Volkenstein de que “Darwin desenvolveu os princípios da sinérgica no caso da natureza vivente bem antes da sua formulação geral [...] Pela primeira vez na história das ciências naturais os mecanismos para a formação de um processo direto ordenado — a evolução biológica — num sistemas com propriedades randômicas foi estabelecido” [103].

Como notado o assim chamado ramo de soluções termodinâmicas das equações de evolução de um sistema macroscópico aberto — ou seja o que se desenvolve continuamente a partir do equilíbrio sob a ação de crescentes valores da intensidade dos vínculos externos — é estável, de acordo com o teorema de Prigogine de mínima produção de entropia, até que o sistema é levado até uma certa distância do equilíbrio. Então, eventualmente, pode-se atingir um ponto crítico, quando acontece uma bifurcação de soluções, e o ramo termodinâmico resulta instável perante a formação de uma estrutura ordenada (em algum sentido). No ponto de bifurcação uma particular flutuação(aquela associada com o grau de ordem que haverá de seguir), a qual regressaria enquanto o ramo termodinâmico é estável, agora se incrementa levando ao ordenamento do sistema numa escala macroscópica. Consequentemente chance e necessidade mantêm um delicado jogo entre eles no caso de auto-organização: perto da bifurcação as flutuações (um elemento de chance) teriam papel fundamental, enquanto que entre bifurcações os aspectos determinísticos da evolução temporal (um elemento de necessidade) resultaria dominante. Desde o ponto de vista dos sistemas biológicos isto parece estabelecer um abrupto contraste entre os argumentos de Monod [104] e Prigogine [26]. Para Monod não há teoria de organização, com os seres viventes simplesmente carregando um programa que tem sido plenamente escritos e sobre cujas origens não é possível formular hipóteses que possam serem sujeitas à teorização científica. Na perspectiva de Prigogine os sistemas

vivos não constituem mecanismos rigidamente conservativos, mas pelo contrário contêm neles a *potencialidade e o estímulo para evoluir*, e de fato, num certo sentido não podem evitar evoluir para subsistir. Poderia ser dito que o enfoque de Prigogine concilia as fações guerreiras na controvérsia reducionistas versus vitalistas nas ciências biológicas, proporcionando um esquema generalizado e abrangente.

A apresentação centrou-se basicamente na questão da auto-organização em sistemas naturais (físicos, químicos, biológicos), e descreveu-se um enfoque teórico associado ligado à Teoria da Informação e à inferência científica (Mecânica Estatística Preditiva, aquela tratada no Capítulo III, e sobre a que voltaremos mais adiante). Mas além disso, é mister reforçar, tal visualização aparece como um relevante e promissor caminho, alternativo porém complementar, a ser considerado na ciências socioculturais (como História, Economia, Psicologia etc.). Desta forma se traz a tona a função do método científico neste contexto.

Este último está baseado nas colunas Observação/ Medida/ Síntese. Esta última, por sua vez, é poderosa e tem sido tremendamente sucedida: É suficiente dar um exemplo de enorme relevância, que é a grandiosa e consistente síntese da Teoria Eletromagnética feita por James Clerk Maxwell no século XIX, a partir das leis individuais da eletricidade e do magnetismo (previamente formuladas por Ampère, Faraday, Biot & Savart, entre outros). É totalmente desnecessário insistir nas subseqüentes brilhantes e fundamentais conseqüências para o progresso da ciência e tecnologia que, para o benefício da sociedade, advierem desta síntese. As Ciências Naturais avançam pela incorporação de teorias prévias, que são justificadas por experimentos, num arcabouço maior e mais abrangente.

Assim, a globalização de idéias em arcabouço abrangente, procurando leis mais gerais que totalizem e sinergizem setores parciais, tem tido papel

fundamental no desenvolvimento humano. Também, vale a pena citar Henri Atlan:

Se realmente existem questões eternas, e se, provavelmente, já se disse tudo a respeito delas, a maneira de dizer é o mais importante, e a renovação dos termos de um problema equivale, na verdade, à renovação do próprio problema.

Retornando à questão de uma aplicação mais abrangente do método científico, é desnecessário noticiar seu incrível êxito — evidente para todos — iniciado após sua entrada em cena no século XVII, deslocando a melancolicamente estagnada Escolástica da Baixa Idade Média. Costuma-se indicar o começo da Idade Moderna com a queda de Constantinopla: melhor seria no século XVII, com a emergência do método científico, por exemplo na data de publicação por Sir Francis Bacon da sua obra *Novum Organum* (em 1620), parte de sua inacabada *Instauratio Magna* (Grande Instauração), ou na publicação por Galileo Galilei do *Discorsi intorno a Due Nove Scienze* (Discurso sobre Duas Novas Ciências, imprensa em Leiden em 1638), ou, se se preferir uma data precisa, em 28 de abril de 1686, quando Isaac Newton apresentou sua grandiosa *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (Princípios Matemáticos da Filosofia Natural) em sessão da Royal Society. É interessante citar Sir Francis Bacon [9]:

Ademais, o fim e a meta da ciência foram mal postos pelos homens. Mas, ainda que bem postos, a via escolhida é errônea e impérvia. E é de causar estupefação, a quem quer

que de ânimo avisado considere a matéria, constatar que nenhum mortal se tenha cuidado ou tentado a peito traçar e estender ao intelecto humano uma via, a partir dos sentidos e da experiência bem fundada, mas que, ao invés, se tenha tudo abandonado ou às trevas da tradição, ou ao vórtice e torvelinho dos argumentos ou, ainda, às flutuações e desvios do acaso e de uma experiência vaga e desregrada.

[...] Mas a verdadeira ordem da experiência, ao contrário, começa por, primeiro, acender o archote, depois, com o archote mostrar o caminho, começando por uma experiência ordenada e medida — nunca vaga e errática —, dela deduzindo os axiomas e, dos axiomas, enfim, estabelecendo novos experimentos.

Retornando à questão da auto-organização, lembremos que um dos pioneiros na sua síntese, no arcabouço da Termodinâmica irreversível dos sistemas abertos, seguido por tentativas de conexão com as ciências biológicas e também as sociais, foi Ilya Prigogine, o que valeu-lhe o prêmio Nobel em 1977. Por sua vez, como já foi dito em seção anterior, a auto-organização parece poder eventualmente ser integrada numa síntese ainda maior, constituindo a teoria da complexidade. Esta tentativa de novo paradigma (Anderson, [1]) teve por “pioneiros”, dentre outros, os ganhadores de prêmio Nobel Philip Anderson e Murray Gell-Mann, que com uma série de associados desenvolvem o tema junto ao Instituto Santa Fé, Novo México, EUA (Lemonick, [105], Stein, [106]). Novamente, temos a tentativa de uma síntese ainda mais abrangente para cobrir a extensa área dos sistemas dinâmicos macroscópicos, tendo em vista, evidentemente, as futuras possibilidades da

sua utilização para o progresso da humanidade. Já nos referimos ao assunto na seção 1 (ver também Morowitz, [107], Gell-Mann, [5]).

Referente à síntese na área de auto-organização, notemos, como fizemos em seções anteriores, que uma variedade da Teoria da Informação parece proporcionar uma poderosa ferramenta teórica para o tratamento do tema. E isto parece estender-se além das Ciências Naturais. Neste ponto fazemos uma ligação de questões científicas fundamentais, no sentido de que o assunto requer para adquirir formas definidas, uma formalização. Esta, por regra geral, requer dois níveis: um nível sintático (ou lógico-matemático), envolvendo um conjunto finito de símbolos (um “alfabeto”), um conjunto de regras para combinar estes símbolos em fórmulas, e um conjunto finito de regras de produção para ter cadeias de fórmulas, ao longo de um processo consistente, para produzir novos resultados; e um nível semântico, envolvendo uma linguagem que atribua significados e organize as idéias. Finalmente, pela força do método científico, deve-se procurar pela técnica observacional-experimental a verificação, validação e confirmação das construções teóricas, examinando até que ponto uma construção teórica é aceitável para representar — ou na expressão de Karl Popper, “falsificar” — a “realidade dos acontecimentos”, ou, nas palavras de Heisenberg [11], definir a noção de “teoria fechada” na ciência moderna. No **Apêndice PFI** reproduzimos alguns ensaios de Thomas Kuhn sobre a estrutura das evoluções científicas, e no **Apêndice PFII** o Capítulo “The End of Philosophy” do livro de Jonh Horgan “The End of Science”.

Concentremo-nos no nível sintático. Como é bem sabido hoje, no caso de sistemas dinâmicos, em particular nas Ciências Naturais, o estudo de aspectos macroscópico destes sistema requer que se vá além do esquema mecanicista-reducionista que prevaleceu nestas ciências por um longo tempo. Podemos voltar a citar Ilya Prigogine [26]:

A crença na “simplicidade” do nível macroscópico pertence agora ao passado [...] Estou convencido de que estamos em meio a uma revolução científica.

Uma boa dose de progresso nessa direção vem-se conseguindo nas Ciências Naturais. Isto é principalmente o resultado do crescente desenvolvimento da Termodinâmica de não-equilíbrio dos processos irreversíveis não-lineares, um membro, como comentamos no Capítulo anterior, da “Sagrada Trindade” no estudo da Física da biosfera, que se completa com a Mecânica e a Eletrodinâmica. A conexão das três é estabelecida pela Física Estatística, que, como o nome já indica, introduz o conceito de probabilidades, fundamental para tratar de sistemas macroscópicos. Jacob Bronowski [63] manifestou que:

[O uso do método probabilístico é] o pensamento revolucionário da ciência moderna. Substitui o conceito de efeito inevitável pelo de tendência provável [...] O futuro não existe já: só pode ser previsto.

O prêmio Nobel Richard Feynman [75] teceu o seguinte comentário sobre a questão:

Não é nossa ignorância acerca dos mecanismos internos, ou das complicações internas, que faz com que a Natureza pareça ter uma probabilidade. Tudo indica que é qualquer coisa de intrínseco. Alguém expressou esse fato do seguinte

modo: “A própria natureza nem sequer sabe [que evolução um sistema vai ter]”.

Neste ponto é interessante citar Aristóteles ([Séc. IV AC.] Física, livro II, cap.4) que, ao que parece, se referia a Demócrito (grifos nossos):

Há outros que, de fato, acreditam que *o acaso é uma causa*, mas que é inescrutável à inteligência humana, por ser uma coisa divina e cheia de mistério.

Tal situação, muito satisfatória e em crescente evolução nas Ciências Naturais, está aparentemente só hoje iniciando-se nas Ciências Sociais. A Economia Matemática, não obstante, apresenta uma perspectiva muito promissora, apesar dos modelos de equilíbrio-desequilíbrio parecerem estar em necessidade de uma expansão, na direção já presente nas Ciências Naturais, para poder incorporar as questões associadas à Teoria da Complexidade (Lemonick [105]; Arthur, [108]) . Tem sido notado (Von Bertalanffy [109]) que a pesquisa dos fenômenos que se desenvolvem nos sistemas dinâmicos sociais requerem uma estrutura básica que seja capaz de tratar e fazer justiça às complexidade e propriedades relevantes de um sistema sociocultural.

Um exemplo é a História, uma disciplina cujas dificuldades foram, na primeira metade deste século XX, discutidas pelo filósofo, humanista e profundo crítico espanhol Jose Ortega y Gasset [12], que chamou a atenção ao fato de que:

Toda ciência da realidade, seja ela corporal ou espiritual, tem que ser uma construção e não um mero espelho dos fatos. Porque a Física desde os tempos de Galileu tomou tal decisão, isso a fez uma ciência exemplar e norma do conhecimento.

Desde então tem sido desenvolvidas tentativas interessantes para levar à História as noções e métodos da dinâmica de sistemas como, por exemplo, no estudo da dinâmica dos eventos históricos na obra de Arnold Toynbee (Lepschy & Milo [110]).

Evidentemente, a Sociologia em geral se confronta com uma incômoda desvantagem que consiste no fato de que a definição e caracterização, assim como as interações, nos sistemas socioculturais são muitos difíceis de serem proporcionadas pelo observador e pesquisador. Geralmente considera-se que é extremamente difícil, uma tarefa formidável e quase impossível, estabelecer o caso dos sistemas sociais sob bases rigorosas, porque a ação dos indivíduos está determinada por um número múltiplo de causas, algumas delas desconhecidas. Não obstante, tal situação é, num certo sentido, similar ao caso de sistemas de muitas partículas nas Ciências Naturais. Assim, de maneira semelhante ao que ocorre nesta última, embora por enquanto num quadro não completamente claro, podemos recorrer a uma descrição dos grupos sociais em termos de algum conjunto — que pareça apropriado — de variáveis de tipo *macroscópico* (coletivas) que seriam tratadas num nível estatístico.

No nível sintático, este é o primeiro e fundamental passo: prover um conjunto básico de variáveis que descreva o *estado do sistema*, significando ir além de, digamos, o *nível microscópico* dos indivíduos com seus comportamentos e atitudes, para um *nível macroscópico* que descreva o comportamento de *atitudes coletivas* suscetíveis a tratamento por métodos

estatísticos. Como já notado e discutido na seção 3, uma vez que estas variáveis coletivas foram escolhidas, de acordo com o método escolhido do MaxEnt ali proposto, devemos maximizar a chamada “entropia informacional” sujeitas aos vínculos impostos pelos valores médios dados para tais variáveis.

Já chamamos a atenção ao fato de que isso representa uma tarefa formidável no caso dos sistemas sociais. O que é maximizada na Economia é a chamada “função utilidade” (que tem o papel nesse caso da entropia informacional), havendo diferentes tipos de vínculos dependentes do problema em questão como, por exemplo, a demanda por mercadorias, a demanda e oferta de ações, o estoque de moeda em um dado conjunto social, o preço das mercadorias, o preço das ações, os ganhos esperados de um conjunto de empresas, etc. (Haga [111]; Zellner [112], Georgescu-Roegen [113]).

Interessantes aplicações da Teoria de Sistemas Dinâmicos têm sido feitas em Arqueologia. Por exemplo, tentou-se modelar e entender a evolução e o colapso de civilização Maya no chamado Período Clássico (Lowe [114], Sharer [115]). Nessa forma procurou-se enfrentar um dos principais dilemas em Arqueologia, que consiste em discernir as causas de complexos processos sociais a partir de um conjunto de evidências (proporcionadas pela Arqueologia de campo) que são em geral escassas e sempre limitadas no que pode revelar. Em outras palavras: como melhor proceder com a informação disponível? Um conjunto de equações diferenciais de evolução é introduzido, relacionado com um certo conjunto de variáveis como população, produtividade per capita, distribuição do trabalho, etc. As equações incorporam diferentes efeitos sociais e econômicos, como crescimento e declínio da população, níveis de produtividade, níveis de coordenação econômica, rotas de comércio, um ou outro tipo de fator de estresse, etc. Estas equações são resolvidas e interpretadas. Em alguns dos modelos, depois que o “input” da informação proporcionada pela Arqueologia de campo é introduzido, um ponto

de instabilidade (bifurcação de soluções) surge e a civilização sofre um colapso. Certamente que isso não assegura a “veracidade” da descrição (já tocamos antes neste assunto), porém, e muito importante, isso pode proporcionar pistas relevantes que justifiquem estudos adicionais, isto é, pode apontar para a realização de um aprofundamento de trabalhos em certas áreas da pesquisa de campo e ainda sugerir novas linhas para tal pesquisa.

Outros exemplos da conexão entre as Ciências Sociais e os aspectos formais da Teoria de Sistemas Dinâmicos é a altamente controversa Sociobiologia proposta por E. O. Wilson [116], entre outros. Na procura pelas origens da mente, este autor sugere que ela surge de uma forma especial de evolução, a fusão de mudança genéticas com a história cultural. Tal teoria tem sido fortemente criticada (por exemplo, Lewontin [117], com resposta em Lumsden e Wilson [118]; Gould [119]). C. L. Lumsden e Wilson [120] construíram uma teoria matemática, sobre o arcabouço da Teoria de Sistemas Dinâmicos, para promover tais idéias. Porém, aqui estes autores enfrentam o fundamental problema, já indicado previamente, que consiste na grande dificuldade de introduzir variáveis que sejam apropriadas e façam sentido para descrever sistemas sociais e, em continuação, construir as equações de evolução para estas variáveis, incorporando também apropriadas e significativas interações e efeitos que possam estar presentes. Seu trabalho é duvidoso em ambos os aspectos, e baseado num conjunto de suposições dúbias (Smith & Warren [121]).

... No Capítulo II mencionamos a necessidade de se ter uma teoria para uma descrição a mais rigorosa que possível destas estruturas dissipativas, que incluía no caso dos sistemas físicos um fundamento microscópico junto com uma conexão com os aspectos macroscópicos dentro do contexto de uma teoria dos sistemas dinâmicos. Temos chamado a atenção ao fato da possível infraestrutura proporcionada pela mecânica estatística, a qual pode ser formulada

em termos de uma lógica científica por inferência como aquela sintetizada por Jeffreys [122, 123] e Jaynes [49-52, 79, 80], do que temos tratado no Capítulo III. O Método do Operador Estatístico de Não Equilíbrio (NESOM, lembramos, na acrossemia em inglês) como derivado no contexto da Mecânica Estatística proposta por Jaynes, aparece como formulação poderosa para tratar com sistemas dinâmicos Hamiltonianos (clássicos ou quânticos) em condições longe do equilíbrio. Como já mencionado, NESOM proporciona uma teoria cinética não linear generalizada de largo escopo. Esta teoria permite derivar as equações que governam a evolução do estado macroscópico do sistema. A estabilidade das soluções destas equações, as quais caracterizam o estado macroscópico do sistema, podem ser analisadas pelos usuais métodos matemáticos — enquanto a interpretação física pode ser achada no critério termodinâmico de (in)estabilidade como dado por Glansdorff-Prigogine — e eventuais pontos de bifurcação serem determinados.

Quando uma bifurcação surge num ponto crítico das soluções, o passo seguinte é a análise cuidadosa nas vizinhanças do ponto crítico, onde o tratamento determinístico dado pelas equações de evolução haverá de ser complementado com o estudo das flutuações estatísticas [124]. Como já notado, estas flutuações são relevantes para a cinética da transição entre estruturas passando pelo ponto crítico: o estado auto-organizado surge pela ação de efeitos não lineares que imprimem efeitos de realimentação positiva, auto catálise, etc., e resulta agora estabilizado. Antes do primeiro ponto crítico o ramo termodinâmico (de caos térmico) é estável e a flutuação que virá a estabelecer a estrutura dissipativa simplesmente regride, isto é, ela “morre” sem atingir seu objetivo de dar “vida” à nova estrutura (que é estabilizada somente após o ponto crítico ter sido atingido).

Temo-nos referido à possível instabilidade do ramo dito termodinâmico (aquele de caos térmico que se inicia a partir da condição de equilíbrio

termodinâmico) em relação à emergência, num ponto de bifurcação, de soluções correspondentes a uma estrutura dissipativa. Porém a existência de cadeias de bifurcações não pode ser excluída : a estrutura emergente a partir do ramo termodinâmico numa bifurcação dita primária, quando o sistema é levado mais e mais longe do equilíbrio, pode por sua vez resultar instável perante a emergência de uma nova estrutura dissipativa, e assim por diante, num — em um certo sentido — processo de constante evolução, com o sistema sendo “mais e mais organizado. Pode também seguir-se o caso de múltiplas bifurcações levando para um estado que é aparentemente desorganizado, ao surgir o que pode ser considerado como uma espécie de caos (dito “turbulento”) como resultado de uma sobrecarga (ou “hiperinflação”) de organização.

Para finalizar, incluímos em continuação alguns parágrafos para reforçar os aspectos principais do método estatístico-informacional proposto. Este está contido na Mecânica Estatística Preditiva avançada por Edwin Jaynes e no resultante método do operador estatístico de não-equilíbrio. Porém, como notado, o formalismo parece apropriado para uma aplicação mais geral a situações (sistemas) outros que os da Físico-Química, a designada pelo nome de Estatística Preditiva. Este formalismo aparece como uma espécie de novo paradigma no método científico. Esta Estatística Preditiva está fundada nos princípios de inferência estatística bayesiana, junto com um critério construtivo para estabelecer distribuições de probabilidade, o já mencionado MaxEnt, baseado num enfoque teórico informacional. Como foi apontado por Jaynes, estamos começando a entender como em grande parte *a ciência toda é realmente informação organizada numa forma particular*. Não obstante, permanecem pontos difíceis, como determinar em que extensão esta informação reside em nós, e até que ponto ela é uma propriedade da natureza, ou melhor dito, dos sistemas dinâmicos em geral. De acordo com Jaynes, a questão de como as formas teoricamente válidas e pragmaticamente úteis de

aplicar Teoria de Probabilidade em ciência foi enfrentada principalmente por Sir Harold Jeffreys, no sentido de que ele manifestou a filosofia geral do que é inferência científica e procedeu a desenvolver a teoria matemática e suas implementações. Jeffreys [123] indica que:

O problema fundamental do progresso científico, e fundamental na vida diária, é o de aprender a partir da experiência. O conhecimento obtido nesta forma é parcialmente uma mera descrição daquilo que já observamos, mas parte consiste em fazer inferências a partir de experiências passadas para prever experiências futuras.

Jeffreys também cita Maxwell como um dos primeiros a manifestar que a verdadeira lógica deste mundo é o cálculo de probabilidades, o qual toma em conta a magnitude da probabilidades, a qual toma em conta a magnitude da probabilidade que está, ou deveria estar, na mente da pessoa razoável.

Conforme o que foi visto, tal enfoque vai além da Física, da Química, da Biologia, e de outras Ciências Naturais, cobrindo também as Ciências Sociais. Como consequência, um ponto de vista adotado por diversos autores é que ele proporciona um método científico unificador para as ciências — significando que os diferentes ramos das ciências que parecem bem separados podem crescer e serem mantidos juntos organicamente, dentro deste novo paradigma.

No MaxEnt que acompanha a Estatística Predictiva, o fato de que uma certa distribuição de probabilidades, sujeitas a certos vínculos (restrições) que apresentam a informação incompleta de que dispomos, maximiza a entropia estatística-informacional é a propriedade fundamental que justifica o uso de tal

distribuição para realizar inferências: ela concorda com tudo que sabemos (a informação disponível), porém evita cuidadosamente supor qualquer fato que não conhecemos. De tal forma ela força — ou melhor, proporciona um enfoque lógico-matemático — ao princípio de economia em Lógica conhecido como a “navalha de Occam”, segundo o qual “Entia non sunt mutiplicanda praeter necessitatem” (os entes não devem ser multiplicados exceto por necessidade). Em Física o formalismo permite prever com grande precisão o comportamento termodinâmico e os resultados esperados de todo tipo de experimento, não com base no usual ponto de vista de trajetórias mecânicas e ergodicidade do raciocínio dedutivo clássico, porém pela meta de usar a inferência a partir da informação incompleta disponível. A distribuição de probabilidades derivadas pelo MaxEnt representa as melhores previsões que podemos fazer a partir da informação existente.

Este enfoque de Jeffreys-Jaynes parece ligar-se com a frase de Demócrito citada anteriormente: Assim, o acaso é uma causa, porém, como Jaynes enfatiza — aparentemente, com relação à segunda parte da frase de Demócrito —, a Estatística Preditiva não é uma teoria fechada mas um método de fazer previsões a serem comparadas com a observação e o experimento. No centro da Estatística Preditiva está a Teoria da Informação, esta última originada do trabalho de um grupo de engenheiros elétricos com orientação matemática, cujo interesse original residia nas comunicações elétricas (Shannon & Weaver [60]). Pode ser notado que o desenvolvimento desta teoria ocorreu principalmente por necessidades estratégicas durante a Segunda Guerra Mundial. Depois, veio a se expandir em formas alternativas em outras disciplinas, onde ela teve diferentes aplicações (ver, por exemplo, Brillouin [61]). Desde o ponto de vista do físico, está intimamente ligada, de fato, à Teoria da Probabilidade, e poderíamos

dizer que é basicamente uma parte da Teoria da Probabilidade. Do ponto de vista do físico, está intimamente ligada à Termodinâmica: nesta, sem a fundamental relação entre entropia e probabilidade — estabelecida por Ludwig Boltzmann e outros — a Teoria de Informação não teria aplicação prática na ciência física. Desde o ponto de vista do engenheiro de comunicações, a Teoria de Informação pode ser considerada como uma teoria de incerteza (na transmissão de mensagens). A Teoria da Informação alcançará toda a sua beleza e grandeza se for finalmente provado que pode aplicar-se a todos os campos da ciência. Aplicações podem estender-se desde áreas abstratas e associadas ao intelecto (como Música, Psicologia etc.), até as das sofisticadas Ciências Naturais (como Física, Química, Biologia), passando pelas áreas de relevante empenho humano como são aquelas associadas ao estudo dos problemas socioculturais.

Em conclusão, Estatística Preditiva, um ramo da Teoria da Informação em conjunto com o enfoque de inferência estatística (no sentido Bayesiano das Probabilidades) no esquema de Jeffreys e Jaynes, e em conjunto com as idéias de Gibbs, Boltzmann, e Jaynes (principalmente o MaxEnt), se mostra com um formalismo muito promissor para uma aproximação lógico-matemática (uma síntese) do tratamento dos sistemas dinâmicos, incluindo uma boa porção — se não todas — as disciplinas dos reinos naturais e humanos.

Fechamos finalmente estas ponderações diversas, apresentadas ao longo do Prolegômeno e os três Capítulos que o segue com uma citação e uma Figura: ~ ~

“Não dou tudo isto como certo, mas apenas
pedirei aos Senhores Teólogos que me expliquem
como se pode produzir tudo isto”.

Nicoles de Oresme (1325-1382)

[Citado por J. le Goff em *Os Intelectuais
na Idade Média* (Ed. Cor. Lisboa, 1973)].



Joaquim Salvador Lavado (Quino):

Ediciones de la Flor. Buenos Aires, 1988.

APÊNDICES

Seguem em continuação os Apêndices aos diferentes Capítulos.

Observação: Em razão de questões legais relacionadas a “copyright”, não foi possível – como dito no texto – reproduzir na íntegra os artigos e capítulos de livros. Assim, damos aqui a indicação da referência e cópia apenas do “Abstract” do artigo e capa do livro.

APÊNDICE II.1

O que é considerado como um dos primeiros “Manifestos” referentes à Teoria da Complexidade:

- Phillip W. Anderson (Prêmio Nobel), “More is Different”, Science **177**, 393-396 (1972).

Reprinted from
4 August 1972, Volume 177, pp. 393-396

SCIENCE

More Is Different

Broken symmetry and the nature of
the hierarchical structure of science.

P. W. Anderson

APÊNDICE II.2

Reprodução do Prólogo e parte do primeiro Capítulo de:

- Gregoire Nicolis and Ilya Prigogine (Prêmio Nobel, 1977) *Exploring Complexity* (Freeman, New York, 1989)

Exploring Complexity

AN INTRODUCTION

*Grégoire Nicolis
Ilya Prigogine*



W. H. FREEMAN AND COMPANY / NEW YORK

APÊNDICE II.3

Reprodução do Prefácio de:

- I. Prigogine and I. Stengers *Order Out of Chaos: Man's New Dialogue with Nature* (Bantam, New York, 1984).

ORDER OUT OF CHAOS

MAN'S NEW DIALOGUE WITH NATURE

Ilya Prigogine
and
Isabelle Stengers

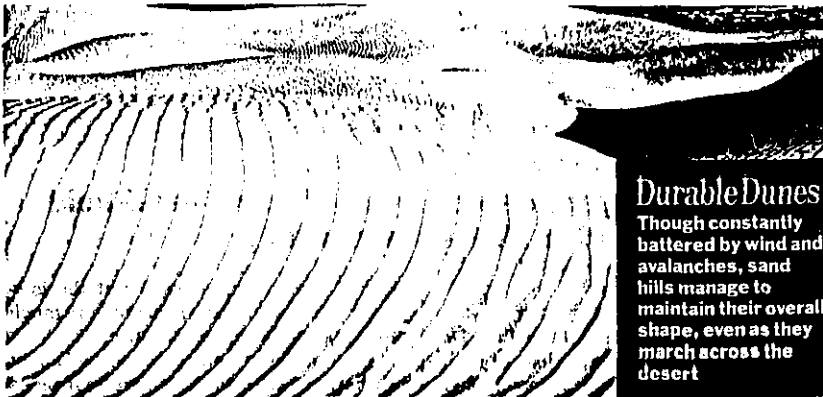
Foreword by
Alvin Toffler



BANTAM BOOKS
TORONTO • NEW YORK • LONDON • SYDNEY

APÊNDICE II.4

Reprodução de artigo na revista semanal *Times*, pelo jornalista científico Michael Lemonick referente à Teoria da Complexidade.



SCIENCE

The new field of complexity may explain mysteries from the stock market to the emergence of . . .

LIFE, THE UNIVERSE AND EVERYTHING

By MICHAEL D. LEMONICK

APÊNDICE II.5

Reprodução do artigo do Nobel Philip W. Anderson referente à Teoria da Complexidade:

- P.W. Anderson, "Is Complexity Physics?, Is It Science, What is It?", *Physics Today* **44** (7) 9-11 (July 1991), e do 'Book Review' de P. Holmes:
- P. Holmes, "No Simple Model for Complex Systems", *Physics Today* **44** (8), 59 (August 1991).

REFERENCE FRAME



IS COMPLEXITY PHYSICS? IS IT SCIENCE? WHAT IS IT?

Philip W. Anderson

BOOKS

NO SIMPLE MODEL FOR COMPLEX SYSTEMS

1989 Lectures In
Complex Systems

Edited by Erica Jen
Addison-Wesley, Redwood
City, Calif., 1990. 611 pp.
\$48.50 hc ISBN 0-201-50936-9

Reviewed by Philip Holmes

APÊNDICE II.6

Reprodução do artigo do Prêmio Nobel Murray Gell-Mann sobre Teoria da Complexidade:

- M. Gell-Mann, "What is Complexity", Complexity 1 (1), 16-19 (1995).

What is Complexity?

*Remarks on simplicity and complexity
by the Nobel Prize-winning author of The Quark and the Jaguar*

MURRAY GELL-MANN

*Nobel laureate Murray Gell-Mann
has many intellectual passions
including natural history, linguistics,
archeology, history, depth psychology
and creative thinking. As Professor
and Co-Chairman of the Science Board
of the Santa Fe Institute, he works with
many researchers in their search
for connections between basic laws
of physics and the complexity and
diversity of the natural world.*

APÊNDICE II.7

Reprodução de comentários críticos por Rolf Landauer sobre Teoria da Complexidade:

- R. Landauer, "One more theory of every thing," Physics World, April 1993, pp. 71-72.

Rolf Landauer

One more theory of everything

**Complexity: The Emerging Science
at the Edge of Order and Chaos M
Mitchell Waldrop 1992 Simon & Schus-
ter/Viking 380pp \$23.00hb £9.99pb**

APÊNDICE II. 8

Reprodução de artigo do jornalista científico John Horgan sobre a aparentemente confusa situação atual (neste fim de século e milênio) da Teoria da Complexidade:

- J. Horgan, "From Complexity to Perplexity", *Scientific American* **272** (6), 74-79 (June 1995)

TRENDS IN COMPLEXITY STUDIES

From Complexity to Perplexity

by John Horgan, *senior writer*

*Can science achieve a unified theory of complex systems?
Even at the Santa Fe Institute, some researchers have their doubts*

APÊNDICE II.9

Reprodução parcial de artigo de John Casti referente aos cuidados a serem tomados quando do uso de modelagem por computador, em problemas ditos de Complexidade:

- J. Casti, "Can You Trust It?", Complexity Journal 2 (5) 8-1 (1997).

Can You Trust It?

On the Reliability of Computer Simulation and the Validity of Models

BY JOHN L. CASTI

APÊNDICE II.10

Comentário do jornalista científico John Horgan sobre a *First Mohonk Conference Dedicated to the Self-Organization of the Psyche: Nonlinear Contributions to Psychoanalytic Theory and Practice*:

- J. Horgan, "Complexifying Freud: Psychoterapists seek inspiration in nonlinear sciences", *Scientific American*, September 1995, pp. 24-26.

Complexifying Freud

Psychotherapists seek inspiration in nonlinear sciences

Squeezed by fast-fix Prozac dispensers on one side and stingy insurers on the other, therapists who believe the psyche can be healed through understanding alone may find themselves a bit on the defensive these days. In spite, or because, of these

pressures, a few ministers of the mind are seeking links between their traditional sources of guidance—notably Freud—and more current (not to say trendy) scientific ideas.

One result is meetings such as the First Mohonk Conference Dedicated to

the Self-Organizing Psyche: Nonlinear Contributions to Psychoanalytic Theory and Practice, held recently at a resort in upstate New York. Some 30 therapists and others while away a weekend discussing such esoterica as chaos, complexity and nonequilibrium dynamics. (To paraphrase Louis Armstrong, if you have to ask what these concepts are, you'll never know.)

APÊNDICE II.11

Reprodução de comentários de Roger Lewin sobre propostas em Teoria da Complexidade do biólogo Stuart Kauffman (este artigo forma parte de vários em número especial do New Scientist (Supplement of 13 February 1993) sobre Complexity, e do qual reproduzimos a capa:

- R. Lewin, "Order for free", New Scientist Supplement, 13 February 1993, pp. 10-11.

COMPLEXITY

ORDER FOR FREE

Thirty years ago Stuart Kauffman's work was heretical. Now it lies at the heart of complexity theory. By Roger Lewin

APÊNDICE II.12

Reprodução da entrevista de Paul Buckley e David Peat, simultâneamente com o biomatemático Robert Rosen, o biofísico Howard Hunt Pattee, e o bioquímico Raymond L. Samorjai, publicada em:

- P. Buckley and D. Peat, *A Question of Physics: Conversations in Physics and Biology* (Univ. Toronto Press, Toronto, 1979)

A Question of Physics: Conversations in Physics and Biology

CONDUCTED BY PAUL BUCKLEY AND F. DAVID PEAT

UNIVERSITY OF TORONTO PRESS

Toronto Buffalo

APÊNDICE II. 13

Reprodução de artigo de Hans Frauenfelder e Peter Wolynes sobre ordem, complexidade, e simplicidade em Biologia Molecular:

- H. Frauenfelder and P. Wolynes, "Biomolecules: Where the Physics of Complexity and Simplicity meets", *Physics Today*, February 1994, pp. 58-64.

BIOMOLECULES: WHERE THE PHYSICS OF COMPLEXITY AND SIMPLICITY MEET

How can a protein fold itself properly in an instant, and how could functional proteins possibly have evolved in the brief span of life on Earth? Addressing such questions, we learn a lot about the physics of complexity.

Hans Frauenfelder and Peter G. Wolynes

Hans Frauenfelder, now on the staff of the Los Alamos National Laboratory, is a professor emeritus of physics, biophysics and chemistry, of the University of Illinois, Urbana-Champaign. **Peter Wolynes** is a Lyman Professor and a Center for Advanced Study Professor of chemistry, physics and biophysics at the University of Illinois, Urbana-Champaign.

APÊNDICE II. 14

Reprodução da Introdução, Prefácio, e Epílogo do livro:

- Klaus Mainzer, *Thinking in Complexity: The Complex Dynamics of Matter, Man, and Mankind* (Springer, Berlin, 19??).

Klaus
Mainzer

Thinking in Complexity

The Complex Dynamics
of Matter,
Mind, and Mankind

With 118 Figures

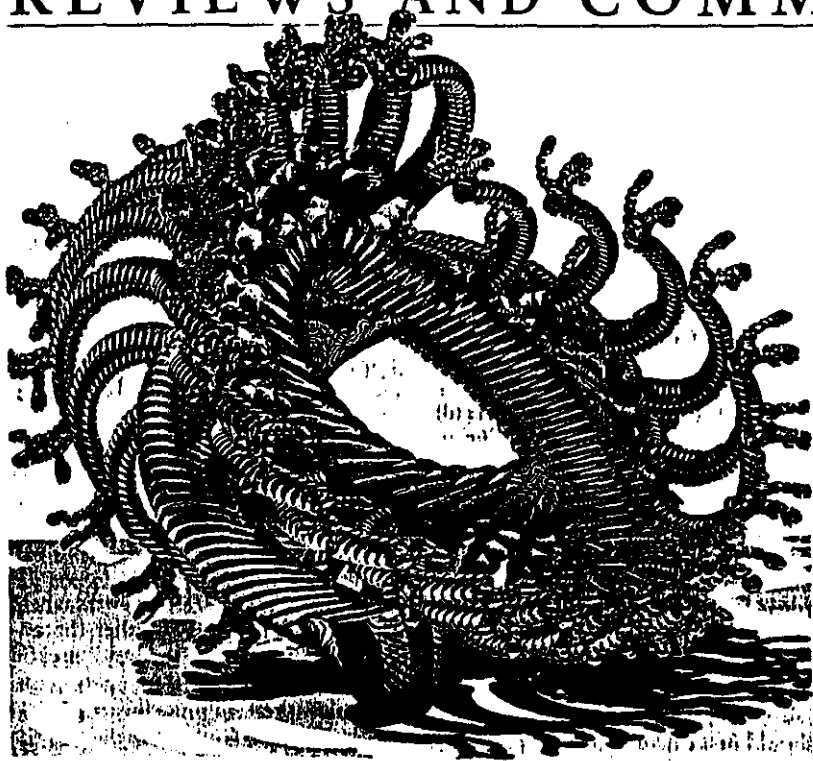
Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo
Hong Kong Barcelona
Budapest

APÊNDICE II. 15

‘Book Review’ com extensos comentários por Seth Lloyd sobre um conjunto de livros recentes sobre Complexidade:

- S. Lloyd, “Complexity Simplified”, Scientific American, May 1996, pp. 88-92.

REVIEWS AND COMMENTARIES



The field of complexity studies promiscuously takes in almost every subject that calls itself science and a few that do not. A search of the Massachusetts Institute of Technology library database reveals that the word “complexity” has been tied to anthropology, biology, cosmology, dentistry, economics, geology, historical studies, Islamic architecture, Japanese calligraphy, knapsack problems, linguistics, music, numismatics, operations research, portfolio management, radiology, statistics, telecommunications, urban planning, wavelets and zoology, to name but a handful out of thousands of references. The same mathematical techniques simply cannot apply rigorously to all these subjects. Like Don Juan, the sciences of complexity sometimes must strike out. Nevertheless, in some fields, complexity studies not only have proved useful but also seem to offer the only possible way to succeed. The differing perspectives of the four books reviewed here give a flavor of the promise and the pitfalls of the current fixation on complexity.

COMPLEXITY SIMPLIFIED

Review by Seth Lloyd

Frontiers of Complexity: The Search for Order in a Chaotic World

BY PETER COVENEY AND ROGER HIGHFIELD

Fawcett Columbine, Ballantine Books, 1995 (\$27.50)

Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity

BY JOHN H. HOLLAND

Helix Books, Addison-Wesley, 1995 (\$24)

At Home in the Universe: The Search for the Laws

of Self-Organization and Complexity

BY STUART KAUFFMAN

Oxford University Press, 1995 (\$25)

Fire in the Mind: Science, Faith, and the Search for Order

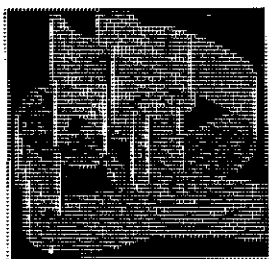
BY GEORGE JOHNSON

Alfred A. Knopf, 1996 (\$27.50)

APÊNDICE II. 16

Reprodução de artigo do Prêmio Nobel Werner Heisenberg antecipando o necessário surgimento da física não-linear neste fim de século e milênio:

- W. Heisenberg, "Nonlinear Problems in Physics", Physics Today, May 1997, pp. 27-33.



Nonlinear Problems In Physics

Interactions of matter and fields are generally nonlinear, so that nonlinear problems play a central role in physics. In fact because nonlinearity is so basic to nature, it is possible that even a theory as fundamentally linear as quantum theory may ultimately have to be replaced by a nonlinear one.

by Werner Heisenberg

The author is famous for his contributions to the development of quantum theory and for his recognition of the fundamental importance of the uncertainty principle that now bears his name. He received the Nobel Prize for this work in 1932. Since 1941 he has been director of the Max Planck Institute for Physics and Astrophysics, Munich. This article is based on a talk he gave last summer at The International School of Nonlinear Mathematics and Physics, Munich, directed by Norman J. Zabusky, Bell Telephone Laboratories, Whippany, N.J., and Martin D. Kruskal, Princeton University, Princeton, N.J.



APÊNDICE II.17

Reprodução do Prólogo e parte do primeiro Capítulo do livro do filósofo científico Stephen H. Kellert referente à Teoria de Caos:

- S. H. Kellert, *In the Wake of Chaos: Unpredictable Order in Dynamical Systems* (Univ. Chicago Press, Chicago, 1993)

STEPHEN H. KELLERT

in the
wake
of
chaos

Unpredictable Order in Dynamical Systems

The University of Chicago Press
Chicago and London

APÊNDICE II. 18

Mais sobre Caos, pelo renomado David Ruelle, com comentários sobre situações na natureza onde pode ter relevância:

- D. Ruelle, "Where One Can Hope to Profitably Apply the Ideas of Chaos", *Physics Today*, July 1994, pp. 24-30.

WHERE CAN ONE HOPE TO PROFITABLY APPLY THE IDEAS OF CHAOS?

A number of theoretical and practical issues must be considered when attempting to carry out meaningful analyses of real systems such as planetary orbits, heartbeats and economics in terms of chaos theory.

David Ruelle

APÊNDICE II. 19

Uma curiosidade sobre eventual papel da Teoria de Caos em Sociologia:

- G. R. Freeman, "Kinetic of nonhomogeneous processes in human society: Unethical behavior and societal chaos", *Can. J. Phys.* **68**, 794-799 (1990).

794

SOCIOLOGY

Kinetics of nonhomogeneous processes in human society: Unethical behaviour and societal chaos

GORDON R. FREEMAN

Chemistry Department, University of Alberta, Edmonton, Alta., Canada T6G 2G2

Received October 7, 1989

Human society is a structured system and processes that occur within it are nonhomogeneous. The methods of studying the kinetics of nonhomogeneous processes assist the definition and analysis of societal problems and the determination of ways to decrease them. The concepts of stochastics and deterministic chaos apply. The greatly increased incidence of cheating on university exams during the last two decades is a symptom of the widespread increase of ethics problems throughout North American society. While causes of the problem are many and complex, the largest single cause appears to be the decay of traditional (stable) families as the basic unit of society. Families in which both parents have jobs outside the home have relatively low stability, and they do not provide adequate nurture for the children. Inadequately nurtured children have a high probability of developing into unethical or unmotivated adults. Inadequately nurtured children also have a relatively high tendency to use drugs and to be sexually irresponsible. Policies are suggested that would reduce societal problems and have large economic benefits.

La société humaine est un système structuré, et les processus qui s'y déroulent sont non homogènes. Les méthodes d'étude des processus non homogènes aident à définir et à analyser les problèmes de société. Les concepts de stochastique et de chaos déterministe s'appliquent. La fréquence grandement accrue, au cours des deux dernières décennies, de la tricherie dans les examens universitaires est un symptôme de l'augmentation générale des problèmes d'éthique dans la société nord-américaine. Bien que les causes du problème soient nombreuses et complexes, il semble que la cause la plus importante soit le déclin des familles traditionnelles (stables) comme unités de base de la société. Les familles où les deux parents ont des emplois à l'extérieur de la maison ont relativement peu de stabilité et ne fournissent pas aux enfants une éducation adéquate. Il y a une grande probabilité que des enfants inadéquatement éduqués deviennent des adultes sans éthique et sans motivation. Ces enfants ont aussi une tendance relativement forte à utiliser des drogues et à se montrer irresponsables sur le plan sexuel. On suggère des politiques susceptibles de réduire les problèmes de société et d'apporter des bénéfices économiques considérables.

[Traduit par la revue]

APÊNDICE II. 20

Reproduzimos o 'Abstract' e um relevante comentários de James Krumhansl sobre situação e dificuldades em teoria de sistemas dinâmicos não lineares:

- J. A. Krumhansl, "Nonlinear science: Towards the next frontiers" *Physica D* **68**, 97-103 (1993).

Physica D 68 (1993) 97-103
North-Holland

SDI: 0167-2789(93)E0173-9

PHYSICA 

Nonlinear science: toward the next frontiers

James A. Krumhansl¹

Physics Department, University of Massachusetts, Amherst, MA 01002, USA

Nonlinear science has erupted in many directions over recent years, with many successes. Two main themes have been found in many different settings – chaos and solitary phenomena. While found initially in simple models, useful for establishing mathematical methods and the behavior of exact limiting cases, their robust features give us assurance that they are generic. The next frontier then is not so much in formalism, but in how to achieve a realistic, eventually utilitarian, representation of an actual biological, material, physical, or chemical system that connects the experimentally significant behavior with its nonlinear properties. An approach is proposed.

APÊNDICE III. 1

Reproduzimos aqui a Introdução do livro:

G. Nicolis and I. Prigogine

Self-Organization in Nonequilibrium Systems

(Wiley-Interscience, New York, 1997).

Self-Organization in Nonequilibrium Systems

**From Dissipative Structures to
Order through Fluctuations**

G. Nicolis

*Université Libre de Bruxelles
Belgium*

I. Prigogine

*Université Libre de Bruxelles
Belgium*

and

*University of Texas at Austin
Texas*

A Wiley-Interscience Publication

JOHN WILEY & SONS

New York / London / Sydney / Toronto

APÊNDICE III.2

Reproduzimos a Apresentação, e as entrevistas com Ilya Prigogine e com Edgar Morin do livro:

Guitta Pessis- Pasternak

Do Caos à Inteligência Artificial:

Quando os cientistas se Interrogam

(Tradução de Luiz Paulo Rouanet)

(Editora da Unesp, São Paulo, 1992)

GUITTA PESSIS-PASTERNAK

DO CAOS À INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL
QUANDO OS CIENTISTAS SE INTERROGAM

Tradução de
Luiz Paulo Rouanet

2ª Edição

APÊNDICE III.3

Algumas considerações sobre complexidade e auto-organização em Biologia de :

- Christian de Duve (Nobel 1974), "The Constraints of Chance" em *Scientific American*, January 1996, p.96.
- Steve Mirsky, "Silence of the Genes" em *Scientific American*, September 1995, pp. 32-33.
- Luca Peliti, "Towards a statistical mechanics of biological evolution?", em *Physics World*, March 1994, pp. 24-25.
- "Geometric Patterns in Bacterial Colonies".
- S. N. Salte, "The Survival of Competition", *Book Review on Complexity* 2, 37-39 (1997).
- Stuart Kauffman, *At Home in the Universe* (Oxford Univ. Press, New York, 1995), do qual reproduzimos o Prefácio.



ESSAY by Christian de Duve

The Constraints of Chance

It has become fashionable for biologists to emphasize the role of contingency in the origin and evolution of life on the earth, including the advent of humankind and the development of mind. Those momentous events are said to be the products of highly improbable combinations of chance occurrences. As the late Jacques Monod wrote in his 1970 best-seller *Chance and Necessity*, "the universe was not pregnant with life, nor the biosphere with man." Often presented as established fact, such affirmations are seen as driving the final nail into the coffin of whatever illusion we still entertain about the human condition and its significance in the universe. When examined critically, however, the science behind this view emerges as less conclusive than is commonly believed.

CHRISTIAN DE DUVE, co-winner of the 1974 Nobel Prize for Physiology or Medicine, is professor emeritus at the University of Louvain, Belgium, and also at the Rockefeller University. He is the author of *Vital Dust: Life as a Cosmic Imperative* (BasicBooks, 1995).

Silence of the Genes

A new view posits evolution in terms of static reduction in DNA

—Steve Mirsky |

SCIENTIFIC AMERICAN September 1995 33

physics in action

Towards a statistical mechanics of biological evolution?

Mathematical models of evolution have much in common with models of complex physical systems and could explain certain features in the fossil record

From Luca Pettit in the Department of Physical Sciences, University of Naples, Italy

WHAT does evolution have in common with earthquakes, lightning and "forest fire" simulations? They are all spontaneously driven to a self-organized critical state according to a new model of evolution based on statistical mechanics. In the model, proposed by Per Bak of the Brookhaven National Laboratory in the US and Kim Sneppen of the Niels Bohr Institute in Copenhagen, the evolution of a single species facilitates the evolution of all the species with which it interacts (*Phys. Rev. Lett.* (1993) 71 4083).

► **GEOMETRIC PATTERNS IN BACTERIAL COLONIES** are being studied by physicists, biologists and mathematicians in an effort to elucidate universal mechanisms for pattern formation in nature. For example, a few bacteria placed on a nutrient-rich surface multiply and spread out and, under certain conditions, form visually striking patterns; these in-

clude stripes and spots organized into concentric circles or radial spokes. Two groups have recently developed models to describe such self-organization. Both models use the observation that bacteria aggregate around a diffusing chemical attractant that they themselves secrete. Pattern formation results from the complex interplay between this response and the rate at which the bacteria spread out on the surface. Howard Berg and Elena Budrene of Harvard University and their colleagues have used such a model to describe the rings of *Salmonella typhimurium* and *Escherichia coli* bacteria seen in their recent experiments. Meanwhile, Lev Tsimring and Herbert Levine (University of California, San Diego), Eshel Ben-Jacob (Tel-Aviv University, Israel) and their colleagues in both countries have added more nonlinear interactions—food depletion and waste accumulation—in an effort to describe a spoked pattern seen previously by Budrene and Berg in *E. coli* cultures. In their model, all components (bacteria, nutrients, waste and attractant) are subject to diffusion. Pattern formation is triggered when the concentration of waste reaches a certain threshold. When the bacteria run out of nutrients in a given location, they enter a dormant state, locking the pattern into place. (D. E. Woodward *et al.*, *Biophys. J.* 68, 2181, 1995. E. O. Budrene, H. C. Berg, *Nature*, 376, 49, 1995. L. Tsimring *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* 75, 1859, 1995.) —BPS

Aggregation Patterns in Stressed Bacteria

The formation of spot patterns seen in bacterial colonies when the bacteria are subjected to oxidative stress due to hazardous by-products of respiration. The cell density is coupled to a chemoattractant concentration as well as to nutrient and waste fields. The model combines the propagation of a front of motile bacterial radially outward from an initial site, a Turing instability of the uniformly dense state, and a reduction of motility for cells sufficiently far behind the front. The wide variety of patterns seen in the experiments is reproduced by the model by varying the details of the initiation of the chemoattractant emission as well as the transition to a nonmotile phase.

FIG. 1. Two examples of patterns of bacteria *E. coli* in experiments by Indelic and Berg [11]: radial alignment of spots (a), radially oriented stripes (b).

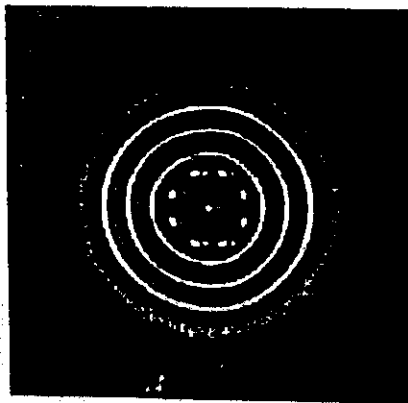
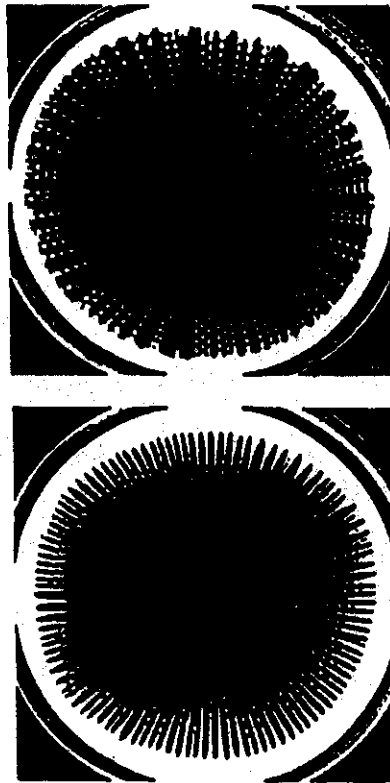


FIG. 2. A snapshot of bacteria density ($p + 0.5p_n$) at $t = 18$ within the model with $D_n = 0.4$, $D_p = 0.2$, $D_u = 0.4$, $\alpha = 0.12$, $\epsilon = 1.8$, $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 1$, $\sigma_n = 0.3$, $\beta_n = 0.1$, $\gamma = 0.2$, $n_0 = 0.5$, $n_{th} = 0.03$, $\delta = 0.5$, and $v_1 = 6.0$, thresholds for chemoattractant disabled, system size is 40, time step 0.02. Concentric rings are formed in the wake of the outer ring.

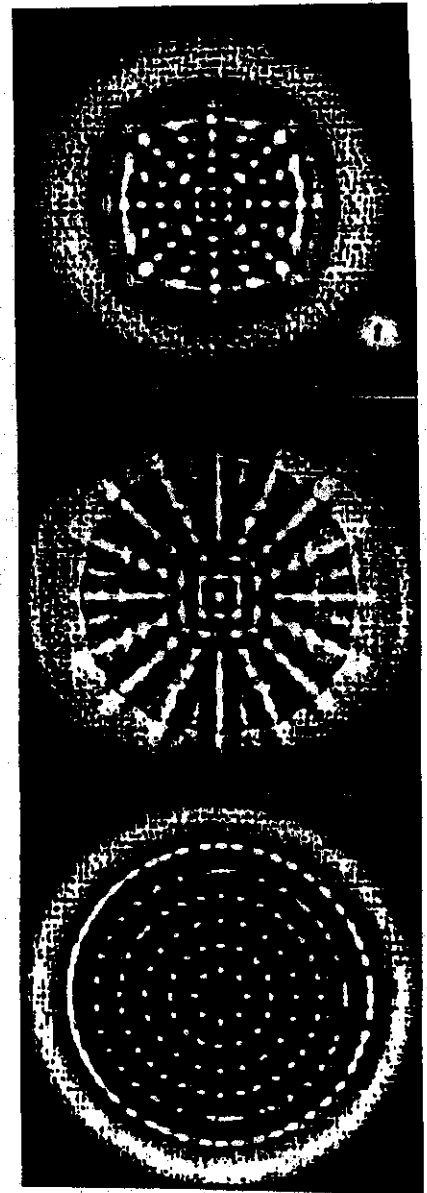
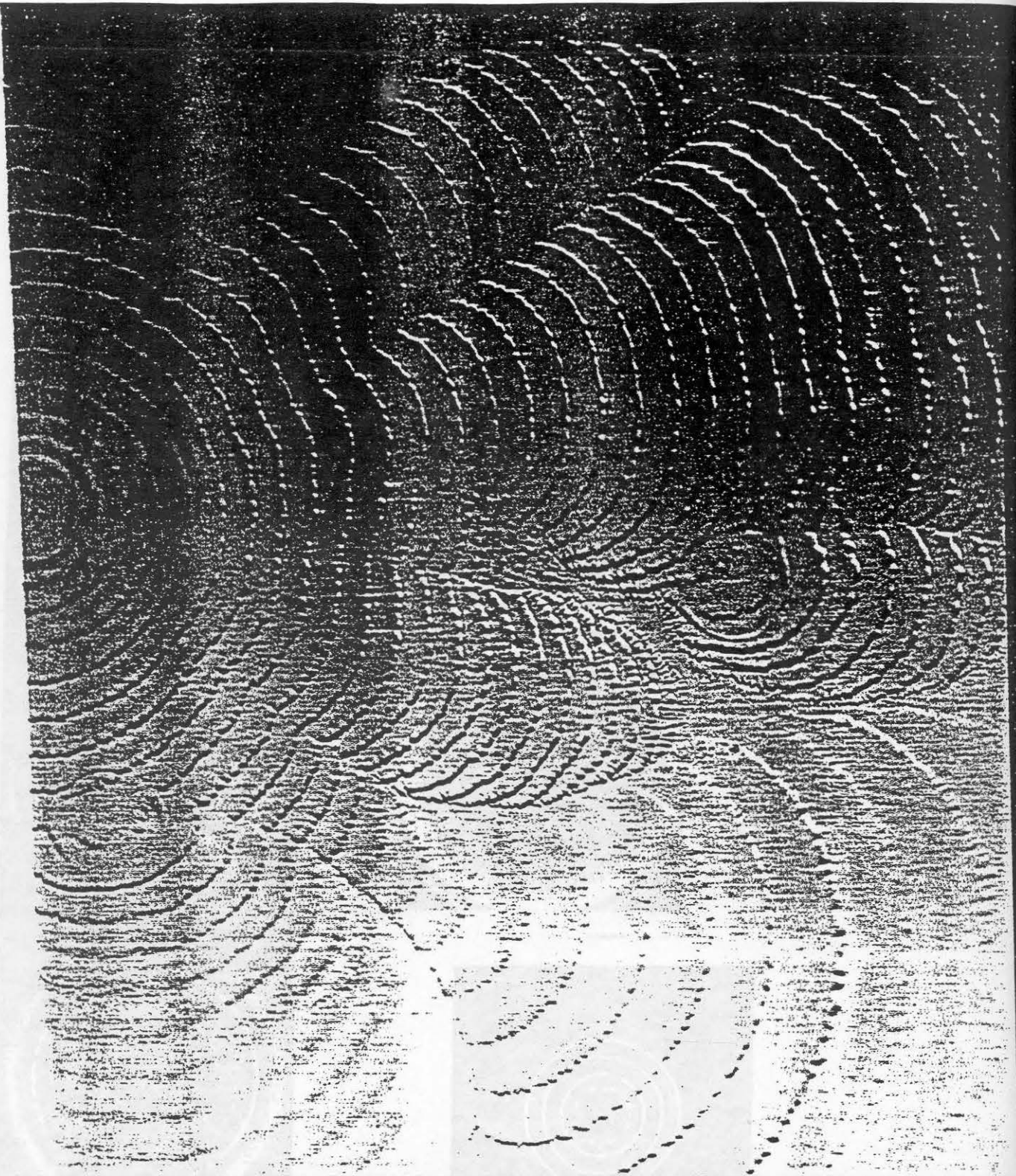
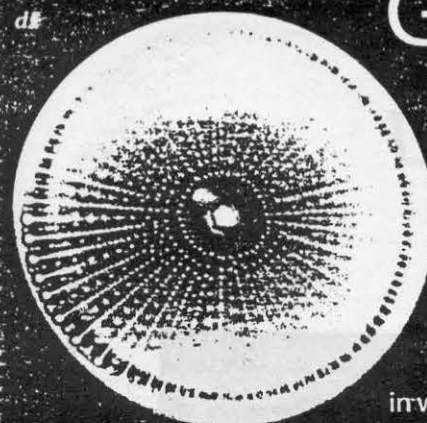
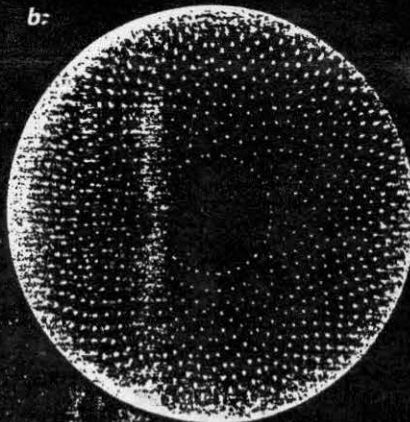
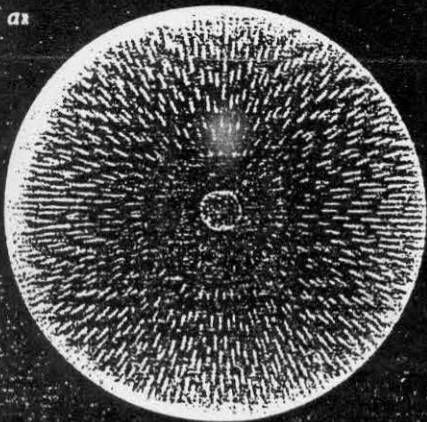


FIG. 3. (a) Same as in Fig. 2 but with enabled thresholds ($n_0 = 0.3$, $n_1 = 0.55$, $c_0 = 0.04$) and $v_1 = 7$; radial rows of spots are clearly seen [cf. Fig. 1(a)]. (b) Same as in (a) but with weaker chemotaxis ($v_1 = 6$), radial stripes similar to Fig. 1(b) are seen. (c) Pattern of $p + 0.5p_n$ within the model (1)–(5) with different thresholds ($n_0 = 0.3$, $n_1 = 0.5$, $c_0 = 0.5$) and higher chemotaxis ($v_1 = 9$), other parameters are the same as in b. A staggered alignment is seen far from the center.

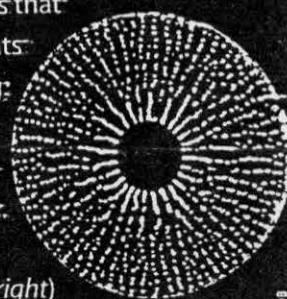


.....

Terraces result when some bacteria in colonies of *Proteus mirabilis* temporarily transform into long "swarmer" cells that move in concert over hard agar to colonize new regions. These pioneers establish a habitable swath that is filled in by normal "swimming" cells. Then the process begins again, perhaps triggered by an internal clock. *P. mirabilis* is responsible for many urinary tract infections suffered by hospital patients. Researcher: James A. Shapiro, University of Chicago.



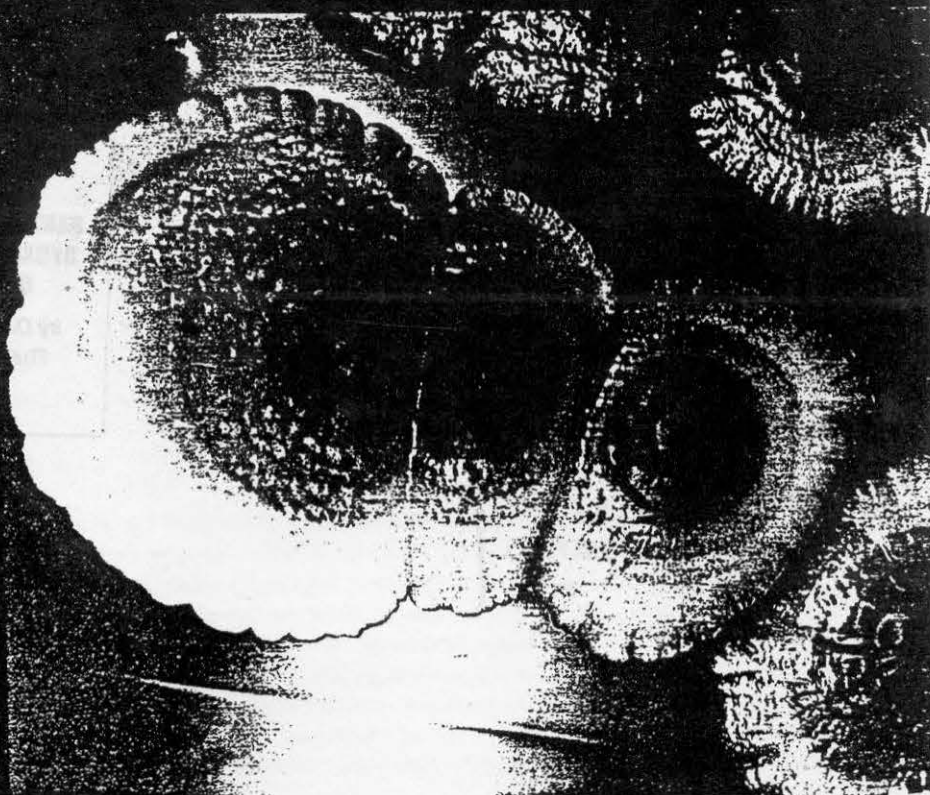
Geometric lattices may result when commonplace *Escherichia coli* (a, b), or *Salmonella typhimurium* (c, d) organize themselves. When exposed to certain nutrients or agents that cause stress, the cells secrete chemical attractants and aggregate in response to them. Depending on conditions, the groups can arrange themselves into stable periodic arrays of spots or stripes. Researchers: Elena O. Budrene and Howard C. Berg, Harvard University.



Patterns also emerge in computer simulations (right) in which the bacteria migrate toward higher densities of the signaling chemical. Researcher: Eshel Ben-Jacob.

Concentric circles form within a colony of *E. coli* grown on hard agar. Under these conditions the bacteria cannot move but propagate outward only by cell division.

The rings show periodic chemical activity; the blue color represents the metabolized products of an enzyme. Researcher: James A. Shapiro, University of Chicago.



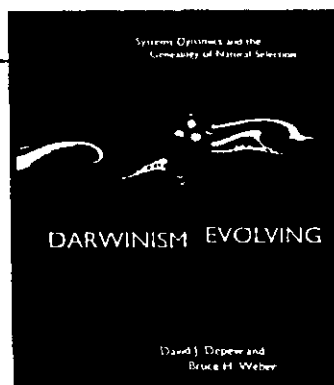
Reviews

book & software

The Survival of Competition

The ideas of Stuart Kauffman are central to this effort. The book is organized as a history of Darwinian discourse, retelling it as though it had all along been leading toward "The Origins of Order."

The suggested history is plausible. The idea of natural selection is seen as arising under Newtonian auspices, then as getting reformulated in crisis under the influence of statistical mechanics—into two schools, the Fisherian, and that arising in the United States under the influence of Sewall Wright and Dobzhansky. Today the discourse is seen as having again been pitched into crisis, this time by perturbations from studies of the dynamics of complexity. Kauffman's book is cited as evidence that the American school anyway may be able to survive yet another revolution in physical science [1]. How shall we interpret this history?



**DARWINISM EVOLVING: SYSTEMS
DYNAMICS AND THE GENEALOGY
OF NATURAL SELECTION**

by D. J. Depew and B. H. Weber.
The MIT Press, 1995. 588 pp.,
\$23.00 (soft)

**AT
HOME
IN THE
UNIVERSE**

*The Search
for Laws of
Self-Organization
and Complexity*

Stuart Kauffman

New York Oxford
OXFORD UNIVERSITY PRESS
1995

APÊNDICE III. 4

Sobre a questão de complexidade e auto-organização com eventual relação à Biofísica, reproduzimos o artigo:

- R. Luzzi and A.R. Vasconcellos, "Complex Behavior in Condensed Matter: Morphological ordering in dissipative carrier system", *Complexity* 2, 42-49 (1997).

RESEARCH ARTICLE

Complex Behavior In Condensed Matter: Morphological Ordering in Dissipative Carrier Systems

ÁUREA R. VASCONCELLOS AND ROBERTO LUZZI

*Instituto de Física 'Gleb Wataghin,' Universidade Estadual de Campinas, Unicamp
13083-970 Campinas, São Paulo, Brazil*

This article studies the dissipative thermodynamic regime of an electron system in bulk matter under the action of an external source of energy, which generates electron-hole pairs with a nonequilibrium distribution in energy space. It is shown that with increasing values of the source power (furthering the distance from equilibrium), and strictly in the case of a p-doped material, the carrier system displays complex behavior characterized by undergoing a succession of transitions between synergetically self-organized dissipative structures. The sequence goes from the homogeneous steady state (or stochastic thermal chaos), to sinusoidal spatial deviations (morphological ordering), to intricate ordered states (subharmonic bifurcations), to deterministic turbulent-like chaos (large amount of nonlinear periodic spatial organization of the Landau-Prigogine's type). The phenomenon may arise, for example, in semiconductor systems, molecular polymers, and protein molecular chains in biosystems. © 1997 John Wiley & Sons, Inc.

Key Words: carrier system, morphological ordering, thermodynamics, turbulent-like chaos

APÊNDICE III.5

Sobre a questão da 'beleza' das pedras de ágata:

- P. J. Heaney and A. M. Davies, "Observation and origin of self-organized textures in Agates", *Science* **269**, 1562-1564 (1995)

Observation and Origin of Self-Organized Textures in Agates

Peter J. Heaney* and Andrew M. Davis

One of the most impressive manifestations of spontaneous pattern generation in natural materials is iris agate, which contains submicrometer concentric striations that may cycle several thousand times within an individual specimen. Analysis by secondary ion mass spectroscopy and transmission electron microscopy identified the iris texture as alternating layers of fine-grained, highly defective chalcedony and coarse-grained low-defect quartz. This oscillatory zonation in defect concentration may be ascribed to Ostwald-Liesegang crystallization cycles from silica-rich fluids that are variably polymeric and monomeric. Periodic changes in defect concentration and grain size also are observed with wavelengths of hundreds of micrometers and of centimeters, so that agates reveal textural self-similarity over three length scales.

APÊNDICE III. 6

Formação de meandros em rios como um caso de auto-organização.

- H. H. Stølum, "River meandering as a self-organization process", *Science* **271**, 1710-1712 (1996).

River Meandering as a Self-Organization Process

Hans-Henrik Stølum

Simulations of freely meandering rivers and empirical data show that the meandering process self-organizes the river morphology, or planform, into a critical state characterized by fractal geometry. The meandering process oscillates in space and time between a state in which the river planform is ordered and one in which it is chaotic. Clusters of river cutoffs tend to cause a transition between these two states and to force the system into stationary fluctuations around the critical state.

Competing Interactions and Levels of Ordering in Self-Organizing Polymeric Materials

M. Muthukumar, C. K. Ober, E. L. Thomas

The sophisticated use of self-organizing materials, which include liquid crystals, block copolymers, hydrogen- and π -bonded complexes, and many natural polymers, may hold the key to developing new structures and devices in many advanced technology industries. Synthetic materials are usually designed with only one structure-forming process in mind. However, combination of both complementary and antagonistic interactions in macromolecular systems can create order in materials over many length scales. Here polymer materials that make use of competing molecular interactions are summarized, and the prospects for the further development of such materials through both synthetic and processing pathways are highlighted.

CHEMISTRY

Researchers Make Slick and Sticky Films

Living cells are masters of hierarchical building. For much of their molecular architecture, they first string together amino acids into proteins, then assemble proteins into more complex structures. Chemists have been working to imitate this skill, in the hope of making new materials tailored right down to the arrangement of molecules. Researchers have logged some initial successes, designing molecules that take a first step toward hierarchy by linking together into aggregates resembling tiny balls, sheets, and webs.

—Robert F. Service

APÊNDICE III. 7

Considerações sobre ordem auto-organizado em materiais:

- M. Muthukumar, C. K. Ober, and E. L. Thomas, "Competing interactions and levels of ordering in self-organizing polymeric materials", *Science* **277**, 1225-1232 (1997).
- R. F. Service, "Researchers make slick and sticky films", *Science* **276**, 354 (1997).
- S. I. Stupp, V. Lebonheur, K. Walker, L. S. Li, K. E. Huggins, M. Keser, A. Amstutz, "Supramolecular materials: Self-organized nanostructures", *Science* **276**, 384-389 (1997).

Supramolecular Materials: Self-Organized Nanostructures

S. I. Stupp,* V. LeBonheur, K. Walker, L. S. Li, K. E. Huggins,
M. Keser, A. Amstutz

Miniaturized triblock copolymers have been found to self-assemble into nanostructures that are highly regular in size and shape. Mushroom-shaped supramolecular structures of about 200 kilodaltons form by crystallization of the chemically identical blocks and self-organize into films containing 100 or more layers stacked in a polar arrangement. The polar supramolecular material exhibits spontaneous second-harmonic generation from infrared to green photons and has an adhesive tape-like character with nonadhesive-hydrophobic and hydrophilic-sticky opposite surfaces. The films also have reasonable shear strength and adhere tenaciously to glass surfaces on one side only. The regular and finite size of the supramolecular units is believed to be mediated by repulsive forces among some of the segments in the triblock molecules. A large diversity of multifunctional materials could be formed from regular supramolecular units weighing hundreds of kilodaltons.

Spontaneous formation of ordered structures in thin films of metals supported on an elastomeric polymer

Ned Bowden*, Scott Brittain*, Anthony G. Evans†,
John W. Hutchinson† & George M. Whitesides*

* Department of Chemistry and Chemical Biology, Harvard University,
12 Oxford Street, Cambridge, Massachusetts 02138, USA

† Department of Engineering and Applied Sciences, Harvard University,
Pierce Hall, Cambridge, Massachusetts 02138, USA

Spontaneous generation of complex order in apparently simple systems is both arresting and potentially useful¹⁻¹¹. Here we describe the appearance of complex, ordered structures induced by the buckling of thin metal films owing to thermal contraction of an underlying substrate. We deposit the films from the vapour phase on a thermally expanded polymer (polydimethylsiloxane, PDMS). Subsequent cooling of the polymer creates compressive stress in the metal film that is relieved by buckling with a uniform wavelength of 20–50 micrometres. The waves can be controlled and orientated by relief structures in the surface of the polymer, which can set up intricate, ordered patterns over large areas. We can account qualitatively for the size and form of the patterned features in terms of the non-uniform stresses developed in the film near steps on the polymer substrate. This patterning process may find applications in optical devices such as diffraction gratings and optical sensors, and as the basis for methods of strain analysis in materials.

APÊNDICE III. 8

Mais considerações sobre auto-organização: reproduzimos a Introdução por Agnessa Babloyantz aos "Proceedings" da Conferência:

- *Self-Organization, Emerging Properties, and Learning* (Plenum Press, New York, 1991: a publication of NATO Scientific Affairs Division).

Self-Organization, Emerging Properties, and Learning

Edited by

Agnessa Babloyantz

Free University of Brussels
Brussels, Belgium

In the last decades the concept of self-organization has been of great value for the understanding of a wealth of macroscopic phenomena in many fields such as physics, chemistry, biology and also the social sciences. Broadly speaking, self-organization describes the ability of systems comprising many units and subject to constraints, to organize themselves in various spatial, temporal or spatiotemporal activities. These emerging properties are pertinent to the system as a whole and cannot be seen in units which comprise the system.

APÊNDICE III.9

Em relação com sistemas abertos não lineares, auto-organização e sinergesis, reproduzimos aqui os Capítulos 4 e 5 de

- C. Careri, Order and Disorder in Matter (Benjamin - Cummings, New York, 1984)

C. Careri

ORDER and DISORDER in MATTER.

(Benjamin / Cummings, New York, 1984)



APÊNDICE III.10

Dos 'Proceedings' da Conferência *Self-Organization, Instability, and Quantum Mechanics*, reproduzimos a contribuição:

- T.Y. Petrovsky and I. Prigogine, "Laws and events: The dynamical basis of self-organization", *Can. J. Phys.* **68**, 670-682 (1990).

670

SELF-ORGANIZATION, INSTABILITY, AND QUANTUM MECHANICS

Laws and events: The dynamical basis of self-organization

TOMIO Y. PETROSKY

*Center for Studies in Statistical Mechanics and Complex Systems, The University of Texas at Austin,
Austin, TX, 78712 U.S.A.*

AND

ILYA PRIGOGINE

*Center for Studies in Statistical Mechanics and Complex Systems, The University of Texas at Austin,
Austin, TX, 78712 U.S.A.*

and

*Instituts Internationaux de Physique et de Chimie Solvay, Université Libre de Bruxelles, B-1050 Brussels, Belgium
Received October 7, 1989*

Traditionally, self-organization has been studied using macroscopic phenomenological descriptions. Recent computer simulations show that "dissipative structures" may be obtained through dynamical programs without any macroscopic assumptions. Self-organization is rooted in dynamics. This leads to the question, "what type of dynamical laws permit self-organization?" The answer refers to unstable dynamical systems, which were widely studied after the pioneering work of Kolmogorov. We concentrate our work on large Poincaré systems with continuous spectrum of the Liouville operator, a generalization of Poincaré's nonintegrable systems. Examples are collisions or quantum jumps. We show that resonances lead to a dynamics of correlations, which can be analyzed using our recent theory of subdynamics. We decompose the dynamical evolution into a set of independent processes. As an example, we study radiation processes as well as the transformation of classical dynamics information into order or disorder processes. We show that in quantum mechanics, our approach leads to a reinterpretation of the collapse of the wave function, owing to the dynamical nature of the system and not to human measurement.

Traditionnellement, on a étudié l'auto-organisation en utilisant des descriptions phénoménologiques, macroscopiques. Des simulations à l'ordinateur ont récemment montré que des "structures dissipatives" peuvent être obtenues au moyen de programmes dynamiques, sans aucune hypothèse macroscopique. L'auto-organisation a ses racines dans la dynamique. D'où la question: "Quel type de lois dynamiques permet l'auto-organisation?" La réponse nous renvoie aux systèmes dynamiques instables, qui ont fait l'objet de nombreuses études, après le travail de pionnier de Kolmogorov. Nous concentrons notre travail sur les systèmes larges de Poincaré avec spectre continu de l'opérateur de Liouville, une généralisation des systèmes non intégrables de Poincaré. Les collisions et les sauts quantiques en sont des exemples. Nous montrons que les résonances mènent à une dynamique de corrélations qu'on peut analyser en utilisant notre théorie récente de sous-dynamique. Nous décomposons l'évolution dynamique en un ensemble de processus indépendants. Comme exemple, nous étudions les processus de rayonnement, de même que la transformation d'information dynamique classique en processus ordre ou désordre. Nous montrons qu'en mécanique quantique notre approche conduit à une réinterprétation de la réduction de la fonction d'onde comme due à la nature dynamique du système plutôt qu'à l'intervention humaine dans la mesure.

[Traduit par la revue]

APÊNDICE III. 11

Encerramos o Capítulo reproduzindo um ensaio de Rolf Landauer contendo algum tipo de crítica sobre a questão tratada neste Capítulo, e também sobre o formalismo informacional de que trataremos no próximo Capítulo:

- R. Landauer, "Nonlinearity, multistability, and fluctuations: reviewing the reviewers", *Am. Physiol. Sec.* **10** (2) R107-R113 (1981).

invited opinion

Nonlinearity, multistability, and fluctuations: reviewing the reviewers

LANDAUER, ROLF: *Nonlinearity, multistability, and fluctuations: reviewing the reviewers*. *Am. J. Physiol.* 241 (Regulatory Integrative Comp. Physiol. 10): R107-R113, 1981.—Mathematicians, physicists, and physical chemists have generated a number of viewpoints related to systems with nonlinearity, multistability, and fluctuations. The viewpoints tend to be characterized by slogans generated by the respective advocates, e.g., *Catastrophe Theory*, *Dissipative Structures*, and *Synergetics*. The advocates also usually stress the applicability of their work to biology and to self-organization. Have the discussions in the semipopular and broader technical journals served to give proper guidance to the outsider through their assessment of these viewpoints? We discuss this, with particular emphasis on book reviews.

book review; catastrophe theory; dissipative structures; synergetics; maximum entropy formalism

APÊNDICE IV.1

Informação como consumo de energia:

- R. Landauer, Information is Physical, em Physics Today, May 1991, pp. 23-29.
- R. Landauer, Minimal Energy Requirements in Communication, em Science 272, 1914-1918 (1996).

INFORMATION IS PHYSICAL

There are no unavoidable energy consumption requirements per step in a computer. Related analysis has provided insights into the measurement process and the communications channel, and has prompted speculations about the nature of physical laws.

Rolf Landauer

Minimal Energy Requirements in Communication

Rolf Landauer

The literature describing the energy needs for a communications channel has been dominated by analyses of linear electromagnetic transmission, often without awareness that this is a special case. This case leads to the conclusion that an amount of energy equal to $kT \ln 2$, where kT is the thermal noise per unit bandwidth, is needed to transmit a bit, and more if quantized channels are used with photon energies $h\nu > kT$. Alternative communication methods are proposed to show that there is no unavoidable minimal energy requirement per transmitted bit. These methods are invoked as part of an analysis of ultimate limits and not as practical procedures.

APÊNDICE IV. 2

Comentários sobre estatística Bayesiana: reprodução da Introdução e parte do Capítulo 1 de J. Earman:

- *Bayes or Bust? A Critical Examination of Bayesian Confirmation Theory*. MIT Press, Cambridge, MA, 1992.

Bayes or Bust?

A Critical Examination of Bayesian Confirmation Theory

John Earman

A Bradford Book
The MIT Press
Cambridge, Massachusetts
London, England

1992

APÊNDICE IV.3

Reprodução da assim chamada Delaware Lecture:

- Edwin T. Jaynes, Foundations of Probability Theory and Statistical Mechanics, em:

The Delaware Seminar, editado por Mario Bunge, com este artigo reproduzido em *E.T. Jaynes: Papers on Probability, Statistics, and Statistical Physics*, editado por R.D. Rosenkrantz (Dordrecht, 1983).

E. T. JAYNES:

PAPERS ON PROBABILITY, STATISTICS AND STATISTICAL PHYSICS

Edited by

R. D. ROSENKRANTZ

Department of Mathematics, Dartmouth College



D. REIDEL PUBLISHING COMPANY
DORDRECHT : HOLLAND / BOSTON : U.S.A.
LONDON : ENGLAND

APÊNDICE IV.4

Revisão dos conceitos fundamentais do princípio de maximização da entropia de informação:

- E.T. Jaynes, Where do we stand on maximum entropy, reproduzido em *ibidem*, Apêndice IV.3.

E. T. JAYNES:
PAPERS ON PROBABILITY,
STATISTICS AND
STATISTICAL PHYSICS

Edited by

R. D. ROSENKRANTZ
Department of Mathematics, Dartmouth College



D. REIDEL PUBLISHING COMPANY
DORDRECHT : HOLLAND / BOSTON : U.S.A.
LONDON : ENGLAND

APÊNDICE IV.5

Algumas considerações sobre o princípio de maximização da entropia de informação:

- E.T. Jaynes, Clearing up mysteries – The original goal, em *Maximum Entropy and Bayesian Methods*, editado por J. Skilling (Kluwer Academic, Dordrecht, 1988).
- E.T. Jaynes, Notes on present status and future prospects, em *Maximum Entropy and Bayesian Methods*, editado por W.T. Grandy and L.H. Schick (Kluwer Academic, Dordrecht, 1990).
- E.T. Jaynes, A backward look to the future, em *Physics and Probability*, editado por W.T. Grandy and P.W. Milonni (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1993).

Maximum Entropy and Bayesian Methods

Cambridge, England, 1988

edited by

J. Skilling

*Department of Applied Mathematics and Theoretical Physics,
University of Cambridge, Cambridge, U.K.*



KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS

DORDRECHT / BOSTON / LONDON

Maximum Entropy and Bayesian Methods

Laramie, Wyoming, 1990

edited by

W. T. Grandy, Jr. and L. H. Schick

*Department of Physics and Astronomy,
University of Wyoming,
Laramie, U.S.A.*



KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS
DORDRECHT / BOSTON / LONDON

Physics and Probability

Essays in honor of Edwin T. Jaynes

Edited by

W. T. GRANDY, JR

Department of Physics and Astronomy
University of Wyoming

and

P. W. MILONNI

Theoretical Division
Los Alamos National Laboratory



CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS

APÊNDICE IV.6

Alguns aspectos de comportamento complexo em biosistemas e polímeros:

- M.V. Mesquita, A.R. Vasconcellos, and R. Luzzi, Selective amplification of coherent polar vibrations in biopolymers: Fröhlich effect. *Physical Review E* **48**, 4049 (1993).
- M.V. Mesquita, A.R. Vasconcellos, and R. Luzzi, Considerations on Fröhlich's Bose- Einstein- like condensation. *Physics Letters A* **238**, 206 (1997).
- A.R. Vasconcellos, M.V. Mesquita, and R. Luzzi, Statistical- thermodynamic approach to vibrational solitary waves in acetanilide. *Physical Review Letters*, **80**, 2008 (1998).

Amplification of coherent polar vibrations in biopolymers: Fröhlich condensate

Marcus V. Mesquita, Aurea R. Vasconcellos, and Roberto Luzzi

Instituto de Física "Gleb Wataghin," Universidade Estadual de Campinas, 13083-970 Campinas, São Paulo, Brazil

(Received 28 June 1993)

We consider the nonequilibrium and dissipative evolution, and the steady state of the population of vibrational polar modes in a chain of biomolecules. These polar modes are excited through a coupling with a metabolic pumping source and are in anharmonic interaction with an elastic continuum. Groups of polar modes are coupled in this way through nonlinear terms in the kinetic equations. This nonlinearity is shown to be the source of an unexpected phenomenon characterizing complex behavior in this kind of system: after a threshold of intensity of the pumping source is achieved, polar modes with the lowest frequencies increase enormously their population in a way reminiscent of a Bose-Einstein condensation (Fröhlich effect). The transient time for the steady-state condensate to follow is very short (picosecond time scale) and the condensation appears even for weak values of the anharmonic coupling strength responsible for its occurrence. Further, it seemingly requires accessible levels of metabolic pumping power in order to be produced and sustained.

PACS number(s): 87.10.+e, 05.70.Ln



2 February 1998

PHYSICS LETTERS A

Physics Letters A 238 (1998) 206-211

Considerations of Fröhlich's Bose-Einstein-like condensation

Marcus V. Mesquita, Aurea R. Vasconcellos, Roberto Luzzi

Instituto de Física "Gleb Wataghin," Universidade Estadual de Campinas, Unicamp, 13083-970 Campinas, São Paulo, Brazil

Received 23 December 1996; revised manuscript received 1 September 1997; accepted for publication 18 September 1997

Communicated by A.P. Fordy

Abstract

The so-called *Fröhlich effect* – consisting of a conjectured coherent behavior of boson-like excitations in biological and molecular polymers – is fully derived and analyzed in terms of a thermo-mechanical theory. This is the so-called informational statistical thermodynamics, based on a generalization of Gibbs statistical theory to systems far from equilibrium. Moreover, it is shown that when double (or multiple) processes of excitation of the boson system are possible there follows a *positive-feedback phenomenon* that greatly favors and enhances the effect. © 1998 Elsevier Science B.V.

Statistical Thermodynamic Approach to Vibrational Solitary Waves in Acetanilide

Aurea R. Vasconcellos, Marcus V. Mesquita,* and Roberto Luzzi

Instituto de Física "Gleb Wataghin," Universidade Estadual de Campinas, Unicamp,

13083-970 Campinas, São Paulo, Brazil

(Received 16 December 1996)

We analyze the behavior of the macroscopic thermodynamic state of polymers, centering on acetanilide. The nonlinear equations of evolution for the populations and the statistically averaged field amplitudes of CO-stretching modes are derived. The existence of excitations of the solitary wave type is evidenced. The infrared spectrum is calculated and compared with the experimental data of Careri *et al.* [Phys. Rev. Lett. 51, 104 (1983)], resulting in a good agreement. We also consider the situation of a nonthermally highly excited sample, predicting the occurrence of a large increase in the lifetime of the solitary wave excitation. [S0031-9007(98)05407-6]

PACS numbers: 87.10.+e

APÊNDICE IV. 7

Alguns comentários sobre a possibilidade de ordem em matéria condensada:

- S.A. Hassan, A.R. Vasconcellos, and R. Luzzi, Nonlinear – driven instability of dynamical plasma in solids: Emergence of steady – state density waves, European Journal of Physics B, no prelo (1999)

Nonlinear-Driven Instability of Dynamical Plasma in Solids: Emergence of Spatially Self-Organized Order and Chaotic-like Behavior

Sergio A. Hassan*, Aurea R. Vasconcellos and Roberto Luzzi

Instituto de Física 'Gleb Wataghin'.

Universidade Estadual de Campinas, Unicamp

13083-970 Campinas, São Paulo, Brazil

We consider the nonlinear kinetics of evolution of the carrier system in the photoinjected plasma in semiconductors under the action of constant illumination with ultraviolet light. We show that the spatially homogeneous steady-state becomes unstable, and a charge density wave emerges after a critical intensity of the incident radiation is achieved. For intensities beyond this critical threshold an increasing number of modes provide further contributions (subharmonics) to the space inhomogeneity, leading the system to display chaotic-like behavior. It is shown that this phenomenon can only follow in doped p-type materials as semiconductors and some molecular and biological polymers, the latter when under dark biochemical excitation.

PACS: 05.45.+b; 47.20.Hw; 47.20.Ky; 05.70.Ln

KEY WORDS: Pattern Formation; Complex Behavior; Nonequilibrium Statistical Thermodynamics; Photoexcited semiconductors; Excited Biopolymers.

APÊNDICE IV. 8

Sobre Mecânica Estatística Predictiva:

- E.T. Jaynes, Predictive Statistical Physics, em *Frontiers of Nonequilibrium Statistical Physics*, editado por G.T. Moore and M.O. Scully (Plenum, New York, 1986).

PREDICTIVE STATISTICAL MECHANICS

E. T. Jaynes*

St. John's College and Cavendish Laboratory

Cambridge CB2 1TP, United Kingdom

INTRODUCTION

This workshop is concerned with two topics, foundations of quantum theory and of irreversible statistical mechanics, which might appear quite different. Yet the current problems in both fields are basically the same, two different aspects of a deep conceptual hangup that permeates not only physics, but all fields that use probability theory.

A different way of thinking about these problems is expounded, which has had useful results recently in statistical mechanics and more general problems of inference, and which we hope may prove useful in quantum theory. An adequate account of all the technical details alluded to in the writer's five talks would require a volume in itself, but much of this is now in print or in the publication pipeline. Therefore we try to explain here the original motivation in quantum theory, the formalism that evolved from it, and some recent applications, with references to further details.

APÊNDICE IV. 9

Considerações sobre a questão da dualidade Mecânica (microscópica) versus Termodinâmica (macroscópica):

- R. Luzzi, J.G. Ramos, and A.R. Vasconcellos, Rosenfeld – Prigogine's complementarity of descriptions in the context of Informational – Statistical Thermodynamics, *Physical Review E*, **57**, 244 (1998).

PHYSICAL REVIEW E

VOLUME 57, NUMBER 1

JANUARY 1998

Rosenfeld-Prigogine complementarity of descriptions in the context of informational statistical thermodynamics

Roberto Luzzi, J. Galvão Ramos,* and Aurea R. Vasconcellos

Instituto de Física "Gleb Wataghin," Universidade Estadual de Campinas, Unicamp 13083-970, Campinas, São Paulo, Brazil
(Received 29 July 1997)

Within the framework of informational statistical thermodynamics, we consider the case of a particular dissipative dynamical system, namely, a system of harmonic oscillators weakly interacting with a thermal bath. Informational entropy and informational-entropy production are obtained. In terms of them we derive the information gain in alternative pictures and a Rosenfeld-like complementarity principle between microdescription and macrodescription. This complementarity is related to a kind of measure of the incompleteness of both descriptions and to Prigogine's theory of irreversible processes. The fundamental role of the universal Boltzmann constant for the characterization of this complementarity is discussed. [S1063-651X(98)06501-5]

PACS number(s): 05.70.Ln, 05.90.+m, 82.20.Db, 89.70.+c

APÊNDICE IV. 10

Como curiosidade apresentamos dois estudos de ordem em sistemas sociais:

- H. Haken, "Sociology: A stochastic model for the formation of public opinion", em *Synergetics: Na Introduction to Non-Equilibrium Phase Transitions and Self-Organization in Physics, Chemistry, and Biology* (Springer, Berlin, 1978).
- R. Luzzi, "On an Informational-Statistical approach in Sociology", *Ciência e Cultura* **50** (1) 29 (1998).

UM EXEMPLO DE ORGANIZAÇÃO EM SOCIOLOGIA: FORMAÇÃO DE OPINIÃO PÚBLICA

em:

H. HAKEN,

SYNERGETICS: An Introduction To
Non-Equilibrium Phase Transitions, and
Self-Organization in Physics, Chemistry,
and Biology.

(Springer, Berlin, 1978)

On an informational statistical approach in sociology

ROBERTO LUZZI

*Instituto de Física "Gleb Wataghin", Universidade Estadual de Campinas,
UNICAMP, Campinas, SP 13083-970, Brasil*

*Chance is a cause, but it is inscrutable to the human intelligence.
Democritus of Abdera (c. 460 - c. 370 BC) (Quoted in Aristotle's Physics Book II, Ch. 4)*

The possibility of application of relatively recent modern statistical concepts to the study of general dynamical systems is considered. Such approach is having an encouraging success in the natural sciences. It is also being tentatively tried in the disciplines of econometrics, history, sociobiology, archaeology, and others. We attempt to describe in this paper an eventual application of such theory to the study of the dynamics of interacting social groups. For that purpose it is convenient to redirect the statistical theory (namely Jeffreys-Jaynes' Predictive Statistics), to derive an equivalent stochastic theory. The working of the theory is illustrated by applying it to the study of a quite simple, oversimplified example. It describes the question of attitude forming in a scenario that grossly resembles the last presidential election in Brazil, taking only into account the two leading candidates FHC and LI(L)S. In the main body of the article the fundamentals of the formalism are discussed, with mathematical details reported in the Appendices.

Consideramos a possibilidade de aplicação de conceitos estatísticos modernos e relativamente recentes ao estudo de sistemas dinâmicos gerais. Este enfoque está tendo um sucesso encorajador nas ciências naturais. Também é utilizado tentativamente nas disciplinas de econometria, história, sociologia, arqueologia, e outras. Pretendemos descrever neste artigo uma eventual aplicação ao estudo da dinâmica de grupos sociais em interação. Para este propósito é conveniente redirecionar a teoria estatística (i.e., a Estatística Preditiva

de Jeffreys-Jaynes) para derivar uma teoria estocástica equivalente. O funcionamento da teoria é ilustrado numa aplicação ao estudo de um modelo simples e supersimplificado. É descrita a questão da formação de opiniões num cenário que muito grosseiramente espelha a última eleição presidencial no Brasil, levando em conta somente a presença de dois candidatos principais FHC e LI(L)S. No corpo do artigo discutimos os aspectos fundamentais do formalismo, e os detalhes matemáticos são relegados para os Apêndices.

APÊNDICE PF I

Reprodução de considerações no livro:

- Thomas Kuhn, *A Estrutura das Revoluções Científicas* (Editora Perspectiva, São Paulo, 1997).

thomas s. kuhn
A ESTRUTURA
DAS REVOLUÇÕES
CIENTÍFICAS



EDITORA PERSPECTIVA

INTRODUÇÃO: UM PAPEL PARA A HISTÓRIA

Se a História fosse vista como um repositório para algo mais do que anedotas ou cronologias, poderia produzir uma transformação decisiva na imagem de ciência que atualmente nos domina. Mesmo os próprios cientistas têm haurido essa imagem principalmente no estudo das realizações científicas acabadas, tal como estão registradas nos clássicos e, mais recentemente, nos manuais que cada nova geração utiliza para aprender seu ofício.

APÊNDICE PF II

Reprodução do segundo capítulo do livro:

- J. Horgan, *The End of Science* (Addison-Wesley, Readings, Ma, 1996).

CHAPTER TWO

The End of Philosophy



Twentieth-century science has given rise to a marvelous paradox. The same extraordinary progress that has led to predictions that we may soon know everything that can be known has also nurtured doubts that we can know *anything* for certain. When one theory so rapidly succeeds another, how can we ever be sure that any theory is true? In 1987 two British physicists, T. Theoharis and M. Psimopoulos, excoriated this skeptical philosophical position in an essay entitled "Where Science Has Gone Wrong." Published in the British journal *Nature*, the essay blamed the "deep and widespread malaise" in science on philosophers who had attacked the notion that science could achieve objective knowledge. The article printed photographs of four particularly egregious "betrayers of the truth": Karl Popper, Imre Lakatos, Thomas Kuhn, and Paul Feyerabend.¹

REFERÊNCIAS

1. P.W. Anderson, 'More is Different', *Science* **177**, 393 (1972).
2. G. Nicolis and I. Prigogine, *Exploring Complexity* (Freeman, New York, 1989).
3. Prigogine and I. Stengers, *Order out of Chaos: Man's new Dialogue with Nature* (Bantam, New York, 1984).
4. P. W. Anderson, 'Is Complexity Physics? Is it Science? What is it?', *Physics Today* **44** (7), 9 (1991).
5. M. Gell-Mann, 'What is Complexity', *Complexity* **1** (1), 16 (1996).
6. J. Horgan, *The End of Science* (Addison-Wesley, Readings, MA, 1996).
7. J. Horgan, 'From Complexity to Perplexity', *Scientific American* **272** (6), 74 (1995).
8. E. Morin, *Ciência em consciência* (Bertrand Brasil, São Paulo, 1986).
9. F. Bacon, Lord Verulam, *The Great Instauration*, in *The Great Ideas Today* (Encyclopaedia Britannica, Chicago, 1981).
10. M. Born, *Experiment and Theory in Physics* (Dover, New York, 1956).
11. W. Heisenberg, 'Language and Reality in Modern Physics', in *Physics and Philosophy: The Revolution in Modern Science* (Harper and Row, New York, 1958); também 'The Notion of a Closed Theory in Modern Science', in *Across the Frontiers* (Harper and Row, New York, 1974).
12. J. Ortega y Gaset, *En Torno a Galileo: Esquema de las Crisis* (Revista de Occidente, Madrid, 1956).
13. J. Casti, 'Can You Trust It?', *Complexity* **2** (5), 8 (1997).

14. L. Kadanoff, 'Chaos: A View of Complexity in Physical Science', in *The Great Ideas Today* (Encyclopaedia Britannica, Chicago, 1986).
15. J. Horgan, 'Complexifying Freud', *Scientific American*, September 1995, pp. 24-26.
16. S. J. Gould, 'The evolution of Life on The Earth', *Scientific American*, October 1994, pp. 84-91.
17. R. Luzzi e A. R. Vasconcellos, 'Estruturas Dissipativas Auto-Organizadas: Um ponto de vista estatístico, em *Auto-Organização: Estudo Interdisciplinares*, organizado por M. Debrun, M. E. Q. Gonzales, e O. Pessoa (Coleção CLE, Volume 18 (CLE-Unicamp, Campinas, 1996)).
18. W. Heisenberg, 'Nonlinear Problems in Physics', *Physics Today*, May 1967, pp. 22-33.
19. R. Landauer, 'Nonlinearity: Historical and Technological View', in *Nonlinearity in Condensed Matter*, A. R. Bishop, D. K. Campbell, P. Kumar, and S. E. Trullinger, Eds. (Springer, Berlin, 1987).
20. S. Kellert, *In the Wake of Chaos* (Univ. Chicago Press, Chicago, 1993).
21. D. Ruelle, "Where one can hope to profitably apply the ideas of Chaos?", *Physics Today*, July 1994 issue, pp. 24-30.
22. G. R. Freeman, 'Kinetic of nonhomogeneous processes in human society: Unethical behavior and societal chaos', *Can. J. Phys.* **68**, 794 (1990).
23. J. A. Krumhansl, 'Nonlinear Science: Towards the next frontier', *Physica D* **68**, 97 (1993).
24. I. Stewart, 'Complexity in Search of Nature's Patterns', 1997- *Yearbook of Science and the Future* (Encyclopaedia Britannica, Chicago, 1996).
25. I. Prigogine, "Structure, Dissipation, and Life", in *From Theoretical Physics to Biology*, M. Marois, Ed. (North Holland, Amsterdam, 1969).

26. I. Prigogine, *From Being to Becoming: Time and Complexity in the Physical Systems* (Freeman, San Francisco, 1982).
27. M. V. Mesquita, A. R. Vasconcellos, and R. Luzzi, 'Selective Amplification of Coherent Polar Vibrations in Biopolymers', *Phys. Rev. E* **48**, 4049 (1993); 'Considerations on Fröhlich's Bose- Einstein Condensation', *Phys. Lett. A* **238**, 206 (1998); 'Positive -Feedback Enhanced Fröhlich Condensation in Biosystems', *J. Quantum Chem.* **66**, 177 (1998); 'An Information - Theoretic Approach in Biological Physics: A case in Bioenergetics', *Chaos, Solitons, and Fractals*, no prelo; R. Luzzi and A. R. Vasconcellos, 'Complex Behavior in Condensed Matter: Morphological Order in Dissipative Carrier System', *Complexity* **2**, 42 (1997); J. R. Madureira, L. Lauck, A. R. Vasconcellos, and R. Luzzi, 'Nonlinear Relaxation in Nonequilibrium Oscillators: Bose - Einstein- like condensation in a Dissipative Struture', *Chaos, Solitons, and Fractals*, no prelo; R. Luzzi, A. R. Vasconcellos, and M.V. Mesquita, 'Irreversible Thermodynamics and Bioenergetics', *Contemp. Phys.*, no prelo; M. V. Mesquita , A. R. Vasconcellos, and R. Luzzi, 'Solitons in Highly Excited Matter: Dissipative - Thermodynamic and Supersonic Effects", *Phys. Rev. E*, no prelo; 'Considerations on X- Waves and Davydov Soliton in Ultrasonography', *J. Biol. Phys.*, submetido; 'Statistical - Thermodynamic Approach to Vibrational Solitary Waves in Acetanilide', *Phys. Rev. Lett.* **80**, 2008 (1998); S. A. Hassan, A. R. Vasconcellos, and R. Luzzi, 'Nonlinear - Driven Instability of Dynamical Plasma in Solids', *Eur. J. Phys.*, no prelo.
28. A. Babloyantz, *Molecules, Dynamics, and Life* (Wiley - Interscience, New York, 1986).
29. H. Fröhlich, 'The connection between macro-and micro-physics', *Revista del Nuovo Cimento* **3**, 490 (1973).
30. C. Normand, Y. Pomeau, and M. G. Velarde, 'Convective Instability: A Physicist Approach', *Rev. Mod. Phys.* **49**, 581 (1977).
31. P. Glansdorff and I. Prigogine, *Thermodynamic Theory of Structure, Stability, and Fluctuations* (Wiley- Interscience, New York, 1971).
32. G. Nicolis, 'Dissipative Systems', *Rep. Prog. Phys.* **49**, 873 (1986).
33. R. J. Field, 'Chemical Organization in Time and Space', *American Scientist* **73**, 142 (1985).

34. I. R. Epstein, 'Pendulus in the Test Tube', in *1986 – Yearbook of Science and the Future* (Encyclopaedia Britannica, Chicago, 1895).
35. A. M. Turing, 'The Chemical Basis of Morphogenesis' *Phil. Trans. Roy. Soc. London B* **237**, 37 (1952).
36. R. Thom, *Structural Stability and Morphogenesis* (Benjamin, Reading, MA, 1975).
37. M. C. Cross and P. C. Hohenberg, 'Pattern Formation Outside of Equilibrium', *Rev. Mod. Phys.* **65**, 851 (1993).
38. S. Grossberg, 'Developmental, Cognitive, and Motivational Theory', in *Brain and Information*, R. Karrer, J. Cohen, and P. Tueting, Eds.: *Annals of the New York Academy of Science*, Vol. 425, pp. 58-151 (NYAS, New York, 1984).
39. H. Haken, *Synergetics: Nonequilibrium Phase Transitions and Self-Organization in Physics, Chemistry and Biology* (Springer, Berlin, 1978).
40. P. M. Allen and J. M. McGlade, 'Evolutionary Drive', *Found. Phys.* **17**, 723 (1987).
41. A. P. Ingersol, 'Jupiter and Saturn', *Scientific American* **245** (6), 90 (1981).
42. A. P. Ingersol, 'The Weather of Other Planets', in *1984 – Yearbook of Science and the Future* (Encyclopaedia Britannica, Chicago, 1983).
43. G. Nicolis and I. Prigogine. *Self-Organization in Nonequilibrium Systems: From dissipative structures to order through fluctuations* (Wiley-Interscience, New York, 1977).
44. Por exemplo, artigos e notas em *New Techniques and Ideas in Quantum Measurement Theory*, D. M. Greenberger, Ed.: *Annals of the New York Academy of Sciences*, Vol. 480 (NYAS, New York, 1986).

45. I. Prigogine, G. Nicolis, and A. Babloyantz, 'Thermodynamics of Evolution', *Physics Today* **25** (11), 23 and **25** (12), 38, 1972.
46. D. Jou, J. Casas-Vázquez, and G. Lebon, *Extended Irreversible Thermodynamics* (Springer, Berlin, 1993, second revised edition 1996).
47. I. Müller and T. Ruggeri, *Extended Thermodynamics* (Springer, Berlin, 1993).
48. C. Truesdell, *Rational Thermodynamics* (Springer, Berlin, 1993).
49. E. T. Jaynes, 'Predictive Statistical Mechanics', in *Frontiers of Nonequilibrium Statistical Physics*, G. T. Moore and M. O. Scully, Eds. (Plenum, New York, 1986).
50. E. T. Jaynes, Articles and Notes reprinted in *E. T. Jaynes Papers on Probability, Statistics, and Statistical Physics*, R. D. Rosenkrantz, Ed. (Reidel – Kluwer Academics, Dordrecht, 1983).
51. E. T. Jaynes, 'Where do we stand on Maximum Entropy', in *The Maximum Entropy Formalism*, M. Tribus and R. D. Levine, Eds. (MIT Press, Cambridge, Ma, 1983).
52. E. T. Jaynes, 'On the rationale of Maximum-Entropy methods', *Proc. IEEE* **70**, 939 (1982).
53. R. Luzzi, A. R. Vasconcellos, and J. G. Ramos, *Statistical Foundations of Irreversible Thermodynamics* (Teubner, Berlin, 1999).
54. W. R. Ashby, 'Principles of the Self-Organizing Dynamic System', *J. General Psychology* **37**, 125 (1947); reprinted in W. R. Ashby, *Mechanisms of Intelligence* (Intersystems, Seaside, RI, 1962).
55. H. Atlan, *Entre o Cristal e a Fumaça* (Zahar, Rio de Janeiro, 1992) [Tradução ao Português de *Entre le Cristal et la Fumée* (Seuil, Paris, 1979)].
56. M. Debrun, nos Seminários sobre Auto-Organização no Centro de Lógica e Epistemologia da Unicamp.

57. A. B. H. Ferreira, *Novo Dicionário da Língua Portuguesa*, também chamado *Novo Dicionário Aurélio* (Nova Fronteira, Rio de Janeiro, 1975).
58. *Webster's Third New International Dictionary of the English Language* (Encyclopaedia Britannica, Chicago, 1976).
59. R. H. Reichardt, 'Drifting on a Ocean of Information', in *Scientific Issues of the Next Century*, Annals of the New York Academy of Sciences, Vol. 610 (NYAS, New York, 1990).
60. C. E. Shannon and N. Weaver, *The Mathematical Theory of Communication* (Univ. Illinois Press, Urbana, IL, 1949).
61. L. Brillouin, *Science and Information Theory* (Academy, New York, 1962).
62. P. S. Laplace, *Essay Philosophique sur les Probabilités* (Bachelier, Paris, 1825).
63. L. Bronowski, *The Common Sense in Science* (Harvard Univ. Press, Cambridge, MA, 1978).
64. O. Penrose, 'Foundations of Statistical Mechanics', Rep. Prog. Phys. **42**, 1938 (1979).
65. R. Zwanzig, 'Where do we go from here', in *Perspectives in Statistical Physics*, H. J. Raveché, Ed. (North Holland, Amsterdam, 1981).
66. R. Kubo, 'Opening Address in the Seminar on Nonlinear Nonequilibrium Statistical Mechanics', Oji, Japan, 1977, Prog. Theor. Phys. (Japan) Suppl. **64**, 1 (1978).
67. J. R. Dorfmann, 'Advances and Challenges in the Kinetic Theory of Gases', Physica A **106**, 77 (1981).
68. H. J. Kreuzer, *Nonequilibrium Thermodynamics and its Statistical Foundations* (Clarendon. Oxford, 1981).
69. H. Mori, 'Transport, Collective Motion, and Brownian Motion', Prog. Theor. Phys. (Japan) **33**, 423 (1965).

70. R. Zwanzig, 'Recent Developments in Nonequilibrium Statistical Mechanics', *Kinam (México)* **3**, 3 (1981).
71. R. Luzzi, A. R. Vasconcellos, and J. G. Ramos, *Foundations of a Nonequilibrium Statistical Ensemble Formalism*, Fundamental Theories of Physics Series (Elsevier- Kluwer Academies, Amsterdam – Dordrecht, no prelo).
72. L. S. Garcia-Colin, A. R. Vasconcellos, and R. Luzzi, 'On Informational Statistical Thermodynamics', *J. Non-Equil. Thermodyn.* **19**, 24 (1994).
73. P. V. Coveney, 'L'Irreversibilité du Temp', *La Reserche* **20**, 190 (1989).
74. S. Hawking, 'The Arrow of Time', In 1990 – *Yearbook of Science and the Future* (Encyclopaedia Britannica, Chicago, 1989).
75. R. Feynman, *The Character of Physical Law* (MIT Press, Cambridge, MA, 1965).
76. R. Lestienne, 'Entropy, Mechanical Time, and Cosmological Arrow', *Scientia* **115**, 373 (1980).
77. I. Prigogine, 'The Statistical Interpretation of Nonequilibrium Entropy', *Acta Physica Austriaca*, **Suppl. X**, 401 (1973).
78. I. Prigogine, 'Irreversibility as a Symmetry-Breaking Process', *Nature* **246**, 67 (1973).
79. E. T. Jaynes, 'Clearing up mysteries – The original goal', in *Maximum Entropy and Bayesian Methods*, J. Skilling, Ed. (Kluwer Academic, Dordrecht, 1989).
80. E. T. Jaynes, 'Notes on present status and future prospects', in *Maximum Entropy and Bayesian Methods*, W.T. Grandy and L. H. Schick, Eds. (Kluwer Academic, Dordrecht, 1991).
81. P. W. Anderson, 'The Reverend Thomas Bayes, Needles in Haystacks, and the Fifth Force', *Physics Today* **44** (7), 9 (1991).
82. J. R. Madureira, A. R. Vasconcellos, R. Luzzi, D. Jou, and J. Casas-Vázquez, *J. Chem. Phys.* **108**, 7568 (1998).

83. M. A. Tenan, A.R. Vasconcellos, and R. Luzzi, 'Statistical Approach to Generalized Nonequilibrium Thermodynamics', *Fortschr. Phys. / Prog. Phys.* **45**, 1 (1997).
84. L. L. Lebowitz and E. W. Montroll, Eds., Preface to *Studies in Statistical Mechanics X. Nonequilibrium Phenomena I: The Boltzmann Equation* (North Holland, Amsterdam, 1983).
85. N. N. Bogoliubov, *Lectures in Quantum Statistics*, Vol. 2 (Gordon and Breach, New York, 1970).
86. A. R. Vasconcellos, A. C. Algarte, and R. Luzzi, 'On the relaxation-time hierarchy in dissipative system', *Physica A* **166**, 517 (1990).
87. A. R. Vasconcellos, R. Luzzi, and L. S. Garcia - Colin, 'Microscopic Approach to Irreversible Thermodynamics. I. General Theory', *Phys. Rev. A* **43**, 6622 (1991). And 'II. An example from semiconductor physics', *ibid.* **43**, 6633 (1991).
88. G. E. Uhlenbeck, in *Lectures in Statistical Physics* M. Kac, Ed. (Am. Math. Soc., Providence, R. I., 1983).
89. H. Mori, I. Oppenheim, and J. Ross, 'Some Topics in Quantum Statistics', in *Studies in Statistical Mechanics I*, In *Studies in Statistical Mechanics I*, J. de Boer and G. E. Uhlenbeck, Eds. (North Holland, Amsterdam, 1962).
90. D. N. Zubarev, *Nonequilibrium Statistical Thermodynamics* (Consultants Bureau, New York, 1974); D. N. Zubarew, V. N. Morosov, and G. Röpke, *Statistical Mechanics of Nonequilibrium Processes*, Vols. 1 and 2 (Akademic Verlag, Berlin, 1996 and 1997).
91. S. V. Peletminskii and A. A. Yatsenko, 'Contribution to the theory of Kinetic and relaxation processes', *JETP* **26**, 773 (1968): A. I Akhiezer and S.V. Peletminskii, *Methods of Statistical Physics* (Pergamon, Oxford, 1981).
92. R. Luzzi and A. R. Vasconcellos, 'On the Nonequilibrium Statistical Operator Method', *Fortschr. Phys. / Prog. Phys.* **38**, 887 (1990).
93. R. Luzzi and A. R. Vasconcellos, 'Response Function Theory for Far-From-Equilibrium Statistical Systems', *J. Stat. Phys.* **23**, 539 (1980).

94. L. Lauck, A. R. Vasconcellos, and R. Luzzi, 'A Nonlinear Quantum Transport Theory', *Physica A* **168**, 789 (1990).
95. J. G. Ramos, A. R. Vasconcellos, and R. Luzzi, 'A Classical Approach in Predictive Statistical Mechanics: A Generalized Boltzmann Formalism', *Fortschr. Phys. / Prog. Phys.* **43**, 265 (1995).
96. R. Luzzi, A. R. Vasconcellos, and J. G. Ramos, 'Statistical Irreversible Thermodynamics in a Nonequilibrium Ensemble Formalism', *Phys. Rep.*, Submetido.
97. H. Grad, 'Principles of the kinetic theory of gases', in *Handbuch der Physik* III, S. Flügge, Ed. (Springer, Berlin, 1958).
98. J. G. Ramos, A. R. Vasconcellos, and R. Luzzi, 'On the truncation process in Informational Statistical Thermodynamics', *J. Chem. Phys.*, no prelo.
99. A. R. Vasconcellos, R. Luzzi, and L. S. García-Colín, 'Microscopic Approach to Irreversible Thermodynamics: I. General Theory', *Phys. Rev. A* **43**, 6322 (1991); 'II An example From Semiconductor Theory', *ibid.* **43**, 6633 (1991); 6III. Generalized Constitutive Equations', *J. Non-Equilib. Thermodyn.* **20**, 103 (1995); 6IV. Example of Generalized Diffusion and Wave Equations', *ibid.* **20**, 119 (1995); A. R. Vasconcellos, R. Luzzi, D. Jou, and J. Casas-Vázquez, 'Thermal Waves in an Extended Quasi-Hydrodynamic Approach', *Physica A* **212**, 369 (1995); 'Second sound wave in a Photoinjected Plasma in Semiconductors', *Phys. Rev. B* **52**, 5030 (1995); A. R. Vasconcellos, R. Luzzi, and A. S. Esperidião, 'Damped Plasma Wave in Photoinjected Plasma in Semiconductors', *Phys. Rev. B* **52**, 5021 (1995); A. R. Vasconcellos, R. Luzzi, and L. S. Garcia-Colin, "V. Memory-Dependent Equations of Evolution", *J. Mod. Phys. B* **19**, 1933 (1995); 'VI. Maxwell-Cattaneo Equations of Evolution Nonlinear in the Fluxes' *J. Mod. Phys. B* **19**, 1945 (1995); 'VII. Response Function Theory for Thermal Perturbations in Informational Statistical Thermodynamics', *Physica A* **221**, 478 (1995); 'VIII. Diffusion and Mobility and a Generalized Einstein Relation', *ibid.* **221**, 495 (1995); A. R. Vasconcellos, R. Luzzi, and G. Lebon, "Heat Transport in Boson System", *Phys. Rev. A* **54**, 4738 (1996); J. G. Ramos, A. R. Vasconcellos, and L. S. Garcia-Colín, 'A Thermohydrodynamic Theory based on Informational Statistical Thermodynamics', *Braz. J. Phys.* **27**, 585 (1997); R. Luzzi, A. R. Vasconcellos, J. Casa-Vázquez, and D. Jou, 'On The Selection of State Space in Nonequilibrium

Thermodynamics', *Physica A* **248**, 111 (1998); R. Luzzi, A. R. Vasconcellos, and J. G. Ramos, 'On the Statistical Foundations of Irreversible Thermodynamics', *Fortschr. Phys. / Prog. Phys.*, no prelo ; veja também as referências [53], [71], [82], [83], [100], [101].

100. R. Luzzi, A. R. Vasconcellos, J. Casas- Vázquez, and D. Jou, 'Thermodynamic Variables in the Context of a Nonequilibrium Ensemble Approach', *J. Chem. Phys.* **107**, 7383 (1997).
101. R. Luzzi, A. R. Vasconcellos, J. Casa-Vázquez, and D. Jou, 'Characterization and Measurement of a Nonequilibrium Temperature-like Variable in Irreversible Thermodynamics', *Physica A* **234**, 699 (1997).
102. R. Luzzi, 'On an Informational – Statistical Approach in Sociology', *Ciência e Cultura* **50** (1), 29 (1998).
103. M. V. Volkenstein, 'Physics and Biology', *Phys. Uspekhi* **16**, 207 (1974).
104. J. Monod, *Le Hasord et la Necessite* (Seuil, Paris, 1970).
105. M. D. Lemonick, 'Life, the Universe, and Everything', *Time Magazine*, February 1993, pp. 40-41.
106. D. Stein, 'Complexity: The emerging science at the edge of order and chaos', *Physics Today* **45**, 83 (1992).
107. H. Morowitz, 'The Emergence of Complexity', *Complexity* **1** (1), 4 (1995).
108. W. B. Arthur, 'Pandora's Marketplace', in *New Scientist*, **Suppl.6**, 6 (1993).
109. L. von Bertalanffy, *General Systems Theory* (Braziller, New York, Third, Edition, 1968).
110. M. A. Lepschy and S. Milo, 'Historical Events Dynamics', *Scientia* **111**, 39 (1976).
111. H. Haga, *Disequilibrium – Equilibrium Model with Money and Bonds: A Keynesian-Walrasian Synthesis* (Springer, Berlin, 1976).

112. A. Zellner, 'Bayesian Methods and Entropy in Economics and Econometrics', in *Maximum Entropy and Bayesian Methods*, W. T. Grandy and L. S. Schick, Eds. (Kluwer Academics, Dordrecht, 1991).
113. N. Georgescu – Roentgen, *The Entropy and The Economic Process* (Harvard Univ. Press, Cambridge, MA, 1971).
114. J. W. Lowe, *The Dynamics of Apocalypse: A Systems Simulation of the Classical Maya Collapse* (Univ. of New México Press, Albuquerque, 1985).
115. R. J. Sharer, 'Mathematics and the Maya collapse', *The Sciences* (NYAS) **26** (3), 59 (1986).
116. E. O. Wilson, *Sociobiology: A new synthesis* (Harvard Univ. Press, Cambridge, MA, 1975).
117. R. C. Lewontin, 'Sleight of Hand', *The Sciences* (NYAS) **21** (8), 23 (1981).
118. C. L. Lumsden and E. O. Wilson, 'Genes, Mind, and Ideology', *The Sciences* (NYAS) **21** (9), 6 (1981).
119. S. J. Gould, 'Cardboard Darwinism', in *An Urchin in the Storm* (Penguin, London, 1987).
120. C. L. Lumsden and E. O. Wilson, *Genes, Mind and Culture* (Harvard Univ. Press, Cambridge, MA, 1979).
121. J. M. Smith and N. Warren, 'Models of Cultural and Genetic Change', *Evolution* **36**, 620 (1982).
122. H. Jeffreys, *Scientific Inference* (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 3rd Edition 1973).
123. H. Jeffreys, *Theory of Probability* (Clarendon, Oxford, 196).
124. G. Nicolis and J.W. Turner, "Effect of fluctuations on Bifurcation Phenomena", in *Bifurcation Theory and Applications*, O. Gurel and O. E. Rossler, Eds. , *Annals of the New York Academy of Sciences*. Vol. 316 (NYAS, New York, 1979)

**Impresso na (Printed in) Secção Gráfica,
Instituto de Física "Gleb Wataghin",
Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP,
Campinas, São Paulo, Brasil**