



**notícias**



## Ilya Prigogine: entre o tempo e a eternidade

---

JORGE ALBUQUERQUE VIEIRA

Em junho de 2003, faleceu Ilya Prigogine, um dos maiores inovadores da ciência do século XX. Ele foi um dos que permitiram o efetivo retorno dos estudos e pesquisas nas chamadas ciências da complexidade, abrindo caminho para uma maior unificação entre várias ciências, até então compreendidas como ontologias regionais estritamente isoladas. Processo histórico emergente em um mundo cada vez mais instável e sujeito exatamente a crises complexas, tal unificação encontrou em Prigogine um dos seus maiores expoentes.

O visconde Ilya Prigogine nasceu em Moscou no ano de 1917. Recebeu o prêmio Nobel de Química de 1977, por suas contribuições para a termodinâmica do não equilíbrio graças ao conceito de "estrutura dissipativa". Foi diretor dos Institutos Solvay de Física e Química, em Bruxelas, e diretor do Centro Ilya Prigogine de Mecânica Estatística, Termodinâmica e Sistemas Complexos, em Austin, Texas. Entre outros, recebeu o Prêmio Franqui, o Prêmio E. J. Solvay, a Medalha Burke da Sociedade Química da Grã-Bretanha e a Medalha Descartes da Universidade de Paris. Seu PhD. foi obtido na Universidade de Bruxelas.

Prigogine pode ser identificado como um cientista de consciência ampla, na concepção de Abraham Moles e Berger de La Senne, ou seja, aquele que vê o mundo em sua totalidade e encaminha sua pesquisa em termos de sínteses (Moles 1971: 230).

A maior parte do esforço de pesquisa por ele desenvolvido foi na tentativa de entender como ordem e organização podem emergir de condições complexas envolvendo aleatoriedade, estocasticidade e caoticidade. O que ele chamava de "ordem a partir das flutuações". Aqui, o termo "ordem" é empregado como os físicos

costumam fazer até hoje, englobando não só a ordem matematicamente definida, mas também a noção, mais complexa, de "organização". É assim utilizado tanto para designar a ordem por simetria, sequenciamento, etc., como acontece na formação dos cristais, como para denotar as formas complexas de organização, com maior organicidade, como no caso dos sistemas vivos. Ou seja, Prigogine trabalhou principalmente com a rota que leva do que é entrópico ao que é organizado. E com isso, teve que elaborar o problema da irreversibilidade temporal nos processos naturais, abandonando a visão clássica newtoniana, que sempre trabalhou com tempos reversíveis e com o predomínio do determinismo e da ordem. A expressão "flutuações" foi utilizada para falar de sinais complexos, sejam formas de ruído ou não (outro grande teórico de nossos tempos, Henri Atlan (1992), trabalha na mesma direção, no que ele chama "ordem a partir do ruído").

Tais trabalhos situam-se em um quadro mais geral. No século XX duas tendências complementares foram instaladas pelos teóricos de consciência ampla: a primeira, perseguindo a pergunta de como um sistema organizado pode transitar para a desordem e o caos; a segunda, pesquisando a rota contrária, de como uma realidade confusa e caótica pode gerar sistemas organizados e sofisticados em termos de funcionalidade e adaptabilidade. Prigogine trabalhou principalmente nesta última. Se a física clássica ocupava-se de processos deterministas e leis bem definidas, a biologia sempre mostrou o contrário, a emergência da vida como um índice de uma realidade inovadora, muitas vezes imprevisível.

É o próprio Prigogine, na primeira parte de sua obra mais conhecida no Brasil, escrita em parceria com a química e filósofa de ciências Isabelle Stengers, *A Nova Aliança* (1984), que descreve bem a transição do pensamento newtoniano clássico, indutor de algo como um "mito da simplicidade", para o domínio da complexidade. Quando a complexidade atinge a física, em meados do século XIX, é a partir da termodinâmica e de seu segundo princípio, que prega o crescimento irreversível da entropia para sistemas isolados.

A entropia é a medida da desordem, um termo como já dito algo ambíguo, que se refere mais à desorganização, ou seja, ao rompimento da integralidade de um sistema, com queda de sua coesão e dissolução de seus subsistemas. Ela denota uma "forma de complexidade", aquela associada às formas de baixa organização. A termodinâmica, em seu segundo princípio, mostrava um Universo irreversivelmente caminhando para uma degradação térmica final, a "morte térmica do Universo", visão predominante na década de 50. Este princípio pode ser assim enunciado: "*durante processos reais, a entropia de um sistema isolado sempre cresce. No estado de equilíbrio, a entropia atinge um valor máximo*" (Harrison 1975: 43).

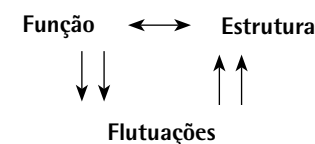
Se conceituarmos Universo como "tudo o que existe" e admitindo-se que não pode haver nada fora do tudo, então o Universo não teria um ambiente e seria um sistema isolado, estando fadado a sofrer um crescimento inexorável em sua entropia total, tal que quando a mesma chegasse a ser máxima, o sistema universal estaria em um estado de total homogeneidade, logo sem nenhuma integralidade e organização.

No entanto, a observação da realidade nos mostra uma tendência ao crescimento da complexidade organizada, aparentemente contrariando a termodinâmica. Foi Prigogine que, a partir do trabalho de Onsager (1931), tentou construir uma termodinâmica adequada à nossa realidade, que não ficasse restrita somente ao Universo astronômico, onde é mais fácil obtermos sistemas satisfazendo aos ideais newtonianos. No trabalho de Onsager, os sistemas eram considerados abertos, mas flutuando próximos aos estados de equilíbrio, o que gera uma matematização de caráter linear. Como consequência, foi possível desenvolver uma teoria da estabilidade termodinâmica onde estados correspondendo ao equilíbrio termodinâmico ou estados estacionários correspondem a um mínimo de produção de entropia, sendo estáveis.

O trabalho de Prigogine consistiu em desenvolver uma termodinâmica de sistemas bem afastados do equilíbrio, quando são regidos por processos não lineares – exatamente o que fazem os sistemas vivos. Surgiu assim a possibilidade de um maior entendimento das bases físicas da vida, um movimento ontológico conectando física e biologia – notar que o trabalho de Prigogine começa na verdade na físico-química, com os estudos de auto-organização nas reações de Belousov-Zhabotinsky: desta maneira, metodologicamente coerente, ele transita entre níveis ontológicos imediatos da realidade.

Em seu desenvolvimento, uma pequena flutuação, por exemplo, na temperatura, seria amplificada em vez de ser amortecida, como na teoria anterior. Ou seja, sistemas não lineares bem afastados do equilíbrio podem sofrer crises onde as flutuações que os perturbam são amplificadas, em vez de superadas pelo sistema. Isso os atira em uma evolução em busca de um novo estado de metaestabilidade, quando para isso sofrem reestruturação e reorganização.

Surgem agora três aspectos fundamentais na linguagem sistêmica: função, estrutura espaço-temporal e flutuações. Elas formam um "anel" do tipo



Ou seja, o sistema aberto interage com seu ambiente, sofrendo do mesmo perturbações, as flutuações. Estas podem, inclusive, entrar em ressonância com perturbações internas ao sistema, as quais são comuns em sistemas complexos. Em condições de grande afastamento do equilíbrio, tais perturbações são amplificadas num regime não linear (aqui, não linearidade refere-se a uma equação de evolução de grau superior a unidade).

Prigogine percebeu que as condições de afastamento do equilíbrio eram impostas por certas propriedades sistêmicas, quando os valores de suas intensidades ultrapassavam algum valor crítico. Quando as perturbações são amplificadas, elas tendem a envolver todo o sistema, gerando um processo em larga escala, não mais localizado. Ou seja, o que ele chamou "correlações de longo alcance".

Outra característica interessante é que tais processos, se representados por uma função matemática temporal  $g(t)$ , pode ser expresso como a superposição de dois processos,  $f(t)$  (que tem um caráter determinista) e  $n(t)$  (que tem o caráter complexo da imprevisibilidade, ou seja, ruído, caos, estocasticidade, etc.). Uma das conseqüências na teoria geral de sistemas é que a característica determinista tende a representar bem o todo do sistema, já a complexa ou "ruidosa" caracteriza aspectos localizados do processo (Mende 1981: 199). Esse sistema, aberto e muito afastado do equilíbrio, capaz de evoluir de modo a reestruturar-se e reorganizar-se, sobrevive dissipando a energia ambiental no processo local, de modo que a queda que obtém na sua entropia interna é "paga" pela dissipação entrópica do seu ambiente. Prigogine chamou-o "estrutura dissipativa".

Entre os vários sistemas que ele trabalhou, podemos citar como exemplo aquele formado por amebas da espécie *Dictyostelium discoideum*, em um fenômeno marcando a passagem do estágio unicelular da vida ao pluricelular (Prigogine & Nicolis 1989: 32). No estágio unicelular, as amebas movem-se no ambiente alimentando-se de bactérias e proliferam por divisão celular. Constituem assim um sistema uniforme, homogêneo. Um índice de entropia. Mas por vezes nutrientes faltam no ambiente, o que provoca uma crise, o equivalente a aplicação de uma restrição ou a ação de um parâmetro externo de controle. Elas reagem agregando-se em direção a um centro de nucleação, tal que a distribuição espacial deixa de ser homogênea e passa a ficar demarcada por subsistemas, um índice de integralidade ou grau de organização (Denbigh, 1975: 87). Elas se acumulam em um sistema compacto, o *plasmodium*, capaz de mover-se chegando assim a ambientes mais favoráveis. Após a migração o corpo se diferencia (nova busca de integralidade) surgindo então dois tipos de células, um formando uma base e o outro formando um corpo fértil onde esporos são formados. Eventualmente, tais esporos são disse-

minados no ambiente, em condições favoráveis, e germinam, tornando-se amebas e recomeçando o ciclo.

Para que haja a nucleação, as amebas precisam comunicar. Com a fome, algumas das células começam a sintetizar e a emitir no ambiente um sinal de uma substância química, o monofosfato cíclico de adenosina (cAMP). Este processo é periódico (determinista), mas a disseminação do sinal no ambiente é por meio de uma lei de difusão, que introduz o caráter estocástico. Quando o sinal atinge a superfície das células vizinhas, duas reações (interpretações) ocorrem: elas se movem orientadas para as regiões de maior concentração de cAMP, ou seja, para as células emissoras. Depois, o processo de agregação é acelerado pela habilidade delas, sensibilizadas, em ampliar o sinal e devolvê-lo ao ambiente. Com isso, o todo sistêmico controla um grande território e forma um corpo multicelular com umas  $10^5$  células.

Toda a transformação envolve detalhes mais sutis e complexos, como *feedback*, catálise, amplificação de sinal, etc. Mas em essência, o que temos é a emergência de uma totalidade organizada a partir de um mecanismo não linear disparado pela ultrapassagem de um valor crítico em um ou alguns parâmetros do sistema. Uma perturbação, ao provocar essa ultrapassagem crítica, é amplificada, em vez de ser amortecida. A emergência ocupa todo o sistema, tal que este se comporta como se fosse uma flutuação gigante, onde são possíveis correlações de longo alcance. O crescimento de entropia é preponderante no ambiente e o sistema abaixa seu nível de entropia organizando-se.

Isso é observado não só em certas reações químicas, mas também em vários outros sistemas, incluindo comunidades de insetos. Ou seja, existe na natureza toda uma classe de sistemas complexos não lineares que conseguem permanecer no tempo bem afastados da estabilidade e do equilíbrio, uma forma de metaestabilidade. Isto é de fundamental importância para as ciências da complexidade, a partir da Biologia. Como citado por Denbigh (1975: 85),

Seja A o conjunto de todos os sistemas consistindo de partes interconectadas e seja B o conjunto de todos os sistemas organizados conhecidos. Seja ainda C o conjunto de todas as estruturas dissipativas conhecidas. Então  $B \subset A$  e  $C \subset A$ . Contudo, B e C não são conjuntos idênticos, pois podemos encontrar muitos exemplos de sistemas organizados, como os que foram citados no texto, que não exigem influxos de energia e podemos também encontrar muitos exemplos de estruturas dissipativas para as quais a questão "Para o que elas são organizadas?" não seria significativa. Todavia, os conjuntos B e C têm uma importante região de superposição – e talvez tenhamos feito, ao menos, um pequeno progresso na definição de "vida" percebendo que o conjunto D de sistemas que são ditos vivos podem ser encontrados nesta interseção. Então,  $D \subseteq ((B \cap C) \subset A)$ .

Um outro conceito importantíssimo desenvolvido por Prigogine é o de "tempo interno". O tempo clássico, newtoniano, desenvolve-se como que independente dos processos sistêmicos. Junto ao espaço, é concebido como uma dimensão reversível, formando o grande cenário onde a realidade ocorre. Este é o "tempo externo". Seu caráter é bem geométrico e nas equações da física clássica aparece na forma de uma variável  $t$ , com comportamento reversível, ou seja, as equações da física clássica são invariantes para a transformação  $t - t$ . Mas a realidade macroscópica na qual estamos inseridos não se comporta assim: é pejada de processos irreversíveis, que denunciam uma assimetria fundamental do tempo, aquela que diz que esses processos só podem evoluir do passado para o futuro. Além disso, em sistemas complexos notamos a existência de vários ritmos coexistindo nas suas histórias. Esse tempo complexo, irreversível e intrínseco ao sistema, é o que chamamos "tempo interno".

Para entender este conceito, necessitamos primeiro definir o chamado "espaço de estados". Todo sistema pode ser representado por um par ordenado da forma  $S = \langle M, P \rangle$ , onde  $M$  é uma característica do sistema geralmente associada a sua composição (Bunge 1977: 120) e  $P$  é uma coleção de propriedades  $\{p_i(t)\}$ , variáveis no tempo. Neste caso, como vistas pelo tempo externo, o tempo de nossos relógios. Tais propriedades possuem intensidades, que por vezes são mensuráveis. A coleção das intensidades das propriedades para um determinado instante de tempo define o estado em que o sistema se encontra.

Vamos agora imaginar um espaço construído a partir de eixos ortogonais entre si, onde cada um é escalonado com o domínio numérico das medidas de uma propriedade. Ou seja, em vez de uma construção clássica, onde os eixos representam dimensões espaciais, como na geometria descritiva de Descartes, temos agora um espaço que não representa iconicamente o sistema, mas sim a sua história: na medida em que o tempo externo "fluir", as intensidades das propriedades mudam, os estados do sistema mudam e um "ponto estado" no espaço muda progressivamente de posição, geometrizando uma trajetória histórica. Este é o espaço de estados.

Processos nascem da sucessão dos estados, da mudança de estados. Então seria possível "ver", nessa geometrização, os ritmos internos do sistema como associados às mudanças de estado, à evolução das intensidades de propriedades intrínsecas do sistema. Prigogine e colaboradores, como Misra, viram a possibilidade da construção de um operador matemático associado tanto ao ser do sistema quando ao seu devir (Prigogine, 1984, 190). Existe assim uma transformação fundamental que pode ocorrer em espaços de estados, fazendo um processo de "mistura" no mesmo, um índice de uma história complexa. Essa transformação é a chamada "transformação do padeiro" (*baker transformation*), assim chamada porque reproduz, matemati-

camente, o processo de mistura que um padeiro aplica ao preparar a massa do pão (basicamente, dobrar e esticar).

A transformação do padeiro parte de um espaço dividido em dois domínios e na medida em que é aplicada, sucessivamente, tais domínios vão se transformando em "lâminas" mais e mais finas e em grande quantidade. A idéia é que uma partição a "duas lâminas" é mais jovem do que, por exemplo, uma a "quatro lâminas", e assim por diante. Quando mais misturado, mais complexo se tornaria o espaço de estados, e mais avançado seria o processo ou conjunto de processos nele descritos, mais "idosos" portanto. Ou seja, ao longo de um tempo externo, representado pelo relógio do observador, veríamos o progressivo envelhecimento do sistema como descrito pela evolução da complexidade de seu espaço histórico. Essa noção de idade está associada à noção de "fragmentação" no espaço de estados, devido a uma ou algumas propriedades intrínsecas do sistema. E mais, "existe um conjunto de partições ou transformações, ditas fundamentais, em que todas as partições podem ser obtidas a partir delas por aplicação de um número arbitrário  $K$ , positivo ou negativo, de transformações do padeiro" (Prigogine 1984: 191).

Este conceito de idade, construído a partir de fragmentações discretas no espaço histórico do sistema, pode ser generalizado para funções de distribuição estatística, ou seja, associada não mais a lâminas, mas sim a distribuições de pontos-estado, o que permite estudar agora, segundo a noção de tempo interno, processos complexos como aleatoriedade, estocasticidade (característica de processos regidos por probabilidades, como as linguagens naturais) e caoticidade (processos de caos determinista).

As contribuições de Prigogine, por demais simplificadas na nossa apresentação, vieram a fundamentar teoricamente toda uma visão complexa da realidade. Para nós, é importante como suas idéias esclarecem muitos pontos já antevistos por pensadores como Peirce, por exemplo. Se realmente aceitamos a semiótica peirceana como uma boa representação da realidade, com *status* de uma ontologia, é de se esperar que inovações como as de Prigogine e outros sejam compatíveis com a mesma.

Ao longo do trabalho deste autor, podemos perceber tais vínculos. No seu conceito de estruturas dissipativas, por exemplo, ele fala em correlações de longo alcance, ou seja, um mecanismo segundo o qual elementos de um sistema poderiam agir sobre grandes regiões do mesmo e não só em regiões localizadas. E isto é comunicação. Correlação, do ponto de vista da Teoria da Informação, é uma medida da faixa de influências intersimbólicas (Goldman, 1968: 239), ou seja, um índice de gramaticalidade. Em seu belíssimo livro, *Entre o tempo e a eternidade*, ao

tentar responder à pergunta: "Que novas histórias poderão inventar essas criaturas da irreversibilidade?" (Prigogine e Stengers 1990: 106), analisando conceitos como o de informação, gramática, cadeias de Markov, etc., ele conclui: "É difícil evitar a comparação entre as limitações estatísticas produzidas pela associação de uma dinâmica caótica com limiares discretos e o conjunto de "regras gramaticais" que faz a diferença entre uma sequência escrita de maneira aleatória pelo macaco de Borel e um verdadeiro texto". Esta conclusão mostra uma ponte entre as ciências da complexidade e a ontologia peirceana, principalmente quanto ao estudo de uma possível protosemiose associada ao mundo não vivo. Como disse Santaella (1992: 144),

Ora, o que Prigogine chama de tempo, Peirce chamava de semiose (ação do signo). Aliás, o tempo não é outra coisa senão o desenrolar-se da semiose, processo autogerativo de signos, signos gerando signos e sendo gerados de signos (Santaella 1992), que Peirce encontrou nas mais rudimentares formas de vida e que agora Prigogine descobriu também nos fenômenos químicos. Peirce teria certamente exultado se pudesse ter chegado a tomar conhecimento das descobertas de Prigogine.

Assim como Peirce e tantos outros inovadores, Prigogine permanecerá vivo em seus signos, como representante do crescimento da complexidade do Universo. Cabe a nós a humilde tentativa de continuar a manter tais sistemas de signos permanentes para as próximas gerações. Muito falta a ser feito, não só em pesquisas específicas que nos ensinem mais sobre a realidade, mas também na construção de uma visão de mundo que contemple nossa inserção na complexidade do real e que nos ajude a também permanecer no tempo.

## REFERÊNCIAS

- ATLAN, H. (1992). *Entre o Cristal e a Fumaça*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor Ltda.
- BUNGE, M. (1977). *Treatise on Basic Philosophy* - Vol. 3. Dordrecht: D. Reidel Publ. Co.
- DENBIGH, K. (1975). A Non-conserved Function for Organized Systems. In *Entropy and Information in Science and Philosophy* (KUBAT, L. & ZEMAN, J. (Eds.)). Praga: Elsevier Sci. Publ. Co., 83-91.
- GOLDMAN, S. (1968). *Information Theory*. New York: Dover Publ. Inc.
- HARRISON, M. J. (1975). Entropy Concepts in Physics. In *Entropy and Information in Science and Philosophy* (KUBAT, L. & ZEMAN, J. (Eds.)). Praga: Elsevier Sci. Publ. Co., 41-59.
- HAKEN, H. (1981). *Chaos and Order in Nature*. Berlim: Springer-Verlag.
- MENDE, W. (1981). Structure-Building Phenomena in Systems with Power-Product Forces. In *Chaos and Order in Nature* (HAKEN, H. (Ed.)). Berlim: Springer-Verlag, 196-206.
- MOLES, A. (1971). *A criação científica*. São Paulo: Perspectiva.

- ONSAGER, L. (1931). *Phys. Rev.* 37, 405; 38, 2265.
- PRIGOGINE, I. (1980). *From Being to Becoming*. San Francisco: W. H. Freeman and Co.
- PRIGOGINE, I. & STENGERS, I. (1984). *A nova aliança*. Brasília: Ed. UNB.
- \_\_\_\_\_ (1990). *Entre o tempo e a eternidade*. Lisboa: Gradiva.
- PRIGOGINE, I. & NICOLIS, G. (1989). *Exploring Complexity*. New York: W. H. Freeman and Co.
- SANTAELLA, M. L. B. (1992). *A assinatura das coisas*. Rio de Janeiro: Imago.

JORGE DE ALBUQUERQUE VIEIRA é professor do PEPG em Comunicação e Semiótica da PUC-SP, onde coordena o NESC – Núcleo de Estudos em Semiótica e Complexidade. É professor aposentado pela Departamento de Astronomia da UFRJ e leciona também na COMFIL da PUC-SP e no Museu Nacional da UFRJ. Seus interesses envolvem a Teoria Geral dos Signos, Semiótica Peirceana, Teoria do Conhecimento e Teoria da Complexidade. [jorgeavi451@hotmail.com](mailto:jorgeavi451@hotmail.com)