

A COMPLEXIDADE ESTÁ NUA E É MUITO MAGRA

Renato Zamora Flores

“Não está morto quem peleia.”

Dito popular gaúcho

Um grande número de problemas simples – dentre tantos com que nos deparamos ao tentar entender como funciona a natureza e qual a sua estrutura – já estão resolvidos pelas ciências naturais: como o DNA se duplica, como funciona o neurônio ou como o antígeno se liga ao anticorpo. Restaram algumas questões muito complicadas e com múltiplos componentes, exemplificadas por estruturas como o sistema imune, o cérebro, a vida na Terra, o embrião e seu desenvolvimento, apenas para nos restringirmos à Biologia.

Há várias propostas sobre como lidarmos com esses problemas e igualmente várias críticas a cada uma delas. Daí a importância de discutir a construção de modelos especiais para tais macroestruturas, como uma ciência específica da complexidade. É possível questionar, também, se esses modelos contemporâneos são uma realidade da natureza ou uma necessidade mental, devido à capacidade limitada do cérebro para lidar com grande número de informações. Em termos mais filosóficos, qual seria a realidade metafísica da complexidade?

Não se trata de negar que existem sistemas muito complicados, que exigem métodos de abordagem difíceis, sobre os quais há uma ampla bibliografia técnica. São sistemas com muitos componentes que interagem de maneira heterogênea e não são 100% regulares nem 100% aleatórios. Quantificá-los, entretanto, é um problema. Como salienta Cosma, corriqueiramente aparecem artigos científicos com novas medidas de complexidade, usualmente impossíveis de serem calculadas e de pouca valia, na prática, para que se resolva um problema.¹

Muitos cientistas e filósofos assumem, a priori, que a complexidade tem uma existência própria:

*Assim como plantas e animais gozam uma existência que é real e auto-suficiente à parte da biologia, sistemas complexos existem antes da ciência da complexidade e são ontologicamente anteriores a ela. A ciência da complexidade é uma invenção do homem, mas sistemas complexos são invenções do universo.*²

Outros consideram a complexidade uma espécie de Santo Graal:

*Caos e complexidade são conceitos que usamos para compreender a realidade que nos cerca. A noção de complexidade, além do seu sentido comum, tornou-se recentemente o norte de uma busca da unificação de um conjunto de problemas fundamentais.*³

Entretanto, mesmo fervorosos defensores dos estudos da complexidade reconhecem que ainda não foi desenvolvido um tratamento matemático adequado para sistemas complexos e que muito do que existe, em termos de pesquisa, deve-se a simulações *in silico*⁴ existindo poucas demonstrações desta complexidade em sistemas reais, que permitam o desenvolvimento de modelos ou simulações com maior capacidade de predição do que modelos mais simples.

As estruturas que apresentam complexidade exibem várias características que permitem sua identificação, como capacidade de aprendizagem, não linearidade, interação com o ambiente etc. Duas delas merecem ser destacadas para o propósito deste artigo e serão tratadas mais adiante: a capacidade de gerar uma ordem emergente, que cria propriedades qualitativamente novas, e a aleatoriedade, que poderia ser mais bem descrita pelo termo “imprevisibilidade”.

Caos e imprevisibilidade

A existência abundante de sistemas dinâmicos que podem exibir comportamento não-linear, é citada muitas vezes pelos que defendem que a complexidade desempenha

¹ COSMA, A. S. Complexity Measures, 2003. [on-line] Disponível na Internet via WWW. URL: <http://www.cscs.umich.edu/~crshalizi/notebooks/complexity-measures.html>. Arquivo capturado em 3 de dezembro de 2003.

² GALANTER, P. Against Reductionism: Complexity Science, Complexity Art, and Complexity Studies. 2002. [on-line] Disponível na Internet via WWW. URL: <http://isce.edu/site/Galanter.pdf>. Arquivo capturado em 3 de julho de 2003.

³ ALMEIDA, A. M. O. Caos em sistemas dissipativos e hamiltonianos. In: NUSSENZVEIG, H. M. (org.) *Complexidade e Caos*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Editora UFRJ/COPEA, 2003. p. 39-506.

⁴ NUSSENZVEIG, H. M. Introdução à complexidade. In: NUSSENZVEIG, H. M. (org) *Op. cit.*, p. 9-26.

um papel preponderante na natureza. Isso pode ser devido à facilidade com que se obtêm belos desenhos que lembram as formas da natureza, utilizando-se de tais descrições matemáticas.⁵

Um sistema caótico é um sistema realimentado, limitado, no qual há grande sensibilidade às condições iniciais. Ainda que muito citado, não é fácil dar exemplos explícitos de sistema caótico em certas áreas da ciência como na Biologia ou na Psicologia, mas aqueles que sustentam a posição de que tais sistemas são importantes na natureza, crêem que esta é uma dificuldade apenas passageira.⁶

Em uma análise adequada da utilidade de modelos caóticos em Ecologia⁷, dois insuspeitos matemáticos concordam que, apesar de encontrarmos na Ecologia os ingredientes para a ocorrência de fenômenos caóticos – por exemplo, uma indiscutível não-linearidade e variáveis que podem assumir diversos estados –, é surpreendente a ausência de evidências que mostrem a importância deste tipo de modelo matemático. Por isso, ainda não sabemos se sistemas ecológicos naturais operam em regimes caóticos de modo sistemático. Não está, de modo algum, descartada a possibilidade de que regimes altamente caóticos sejam uma raridade na natureza.

Na vida real, porém, é muito grande a dificuldade para aplicar-se a teoria matemática do caos a modelos biológicos, pois para fazê-lo, é necessário conhecer as variáveis envolvidas e suas regras de evolução. Então, se não se pode descrever a dinâmica do sistema, não se pode estar propondo uma dinâmica caótica.

Além disso, é comum em artigos que tentem tal abordagem, misturar-se a teoria matemática com ditos populares (por exemplo, um prego faltante em uma ferradura que levou à queda de um reino⁸, ou o gigantesco impacto no clima causado por uma borboleta no outro lado do mundo⁹).

A origem do chamado “Efeito Borboleta” merece destaque pela sua ampla citação, pois a frase original, em um artigo de 1963, do matemático e meteorologista Edward Lorenz, mencionava uma gaivota. Posteriormente, em 1972, o sucesso da metáfora, fez com que a imagem se estendesse a borboleta, um organismo cerca de 500 vezes menor. Respectivamente, as frases dos artigos eram:

...uma batida de asas de uma gaivota seria suficiente para alterar o curso do clima definitivamente.

Será que uma batida de asas de uma borboleta no Brasil desencadeia um tornado no Texas?¹⁰

⁵ SOKAL, A. & BRICMONT, J. *Imposturas intelectuais*. Rio de Janeiro: Record, 1999.

⁶ PALIS, J. Sistemas caóticos e sistemas complexos. In: NUSSENZVEIG, H. M. (org) *Op. cit.*, p. 27-38.

⁷ RAÍ, V. & SCHAFFER, W. M. Chaos in ecology. *Chaos, Solitons and Fractals*, 12: 197-203, 2001.

⁸ Por falta de um prego, perdeu-se a ferradura; por falta de uma ferradura, perdeu-se o cavalo; por falta do cavalo, perdeu-se o cavaleiro; por falta do cavaleiro, perdeu-se a batalha; por falta da batalha, perdeu-se o reino. In: GLEICK, J. 1990. *Caos – A criação de uma nova ciência*. Rio de Janeiro: Campus, 1990.

⁹ SOKAL, A. & BRICMONT, J. *Op. cit.*

¹⁰ LORENZ, E. N. Predictability: Does the Flap of a Butterfly's Wings in Brazil Set off a Tornado in Texas? 139th Meeting of the American Association for the Advancement of Science, Washington, USA, 12/29/1972.

Entretanto, será que alguém, de fato, crê que uma ave ou inseto possa ter tal influência no clima? Essa pequena hipótese sobre a influência de causas próximas na dinâmica de sistemas, tem sido amplamente lembrada como justificativa para que não se busquem quaisquer causas suficientes. É como se, uma vez admitindo que mesmo o mais leve sopro de ar possa vir a derrubar uma xícara mal equilibrada na borda de uma mesa, nos recusemos a creditar o papel da gravidade ou do arranjo desequilibrado da xícara ao fato de a mesma ter-se quebrado contra o chão. Na verdade é como se estivéssemos assumindo, sem qualquer verificação empírica, que xícaras altamente desequilibradas sejam a norma no mundo.

Na corrente filosófica contemporânea denominada pós-modernismo, a idéia de complexidade surgiu como uma bênção divina, pois válida (segundo seus defensores) a crença de que narrativas míticas e lendas têm o mesmo valor do conhecimento científico. Conforme um importante filósofo da área, Christopher Norris:

Em campos mais avançados de ciência contemporânea, tudo é uma questão de caos, indecisão, incerteza, conflito, paradoxo, jogos de linguagem heterogêneos, incomensurabilidade, o repertório inteiro de idéias acolhidas pelos pós-modernistas.¹¹

¹¹ NORRIS, C. & PAPASTE-PHANOU, M. Deconstruction, anti-realism and philosophy of science – an interview with Christopher Norris. *Journal of Philosophy of Education*, 36(2): 265-289, 2002.

¹² SOKAL, A. & BRICMONT, J. *Op. cit.*

No mundo altamente subjetivo onde as palavras significam o que queremos que signifiquem, os pós-modernistas criaram, também, sua própria versão do que é não-linearidade: é tudo o que não segue um raciocínio lógico e racionalista, é o que não segue os métodos da ciência clássica e não é, portanto, positivista e reducionista.¹² Abusos de linguagem à parte, voltaremos ao reducionismo mais adiante.

Complexidade e propriedades emergentes

A questão da ordem emergente é o primeiro aspecto importante dentre aqueles que permitem identificar a complexidade. Propriedades emergentes são “propriedades genuinamente novas, irreduzíveis a e imprevisíveis a partir das propriedades – intrínsecas e relacionais – dos componentes”¹³. Os autores da definição, conceituados defensores deste modelo, Charbel El-Hani e Antonio Augusto Videira, elencam quatro propriedades do emergentismo, definido como uma posição filosófica não reducionista (ver tabela 1).

Quanto à primeira delas, não há qualquer questionamento, exceto por algum raciocínio sofrendo de contaminação religiosa. Já a última propriedade decorre da aceitação

¹³ EL-HANI, C. N. & VIDEIRA, A. A. P. Causação descendente e emergência de propriedades. *Série Ciência e Memória*, CNPQ/Observatório Nacional, Coordenação de Informação e Documentação, n. 01, 1999.

das anteriores. As características críticas são, então, a segunda e a terceira, a irredutibilidade da emergência e a imprevisibilidade, mencionadas anteriormente.

Tabela 1: Características fundamentais do emergentismo irredutibilista, segundo El-Hani e Videira (1999)¹⁴

¹⁴ EL-HANI, C. N. & VIDEIRA, A. A. P. *Op. cit.*

Propriedade	Descrição
Fisicalismo ontológico	Tudo que existe no mundo são as partículas elementares reconhecidas pela física e seus agregados
Emergência de propriedades	Quando agregados de partículas materiais atingem um nível apropriado de complexidade organizacional, propriedades genuinamente novas emergem nestes sistemas complexos
Irredutibilidade dos emergentes	Propriedades emergentes são irredutíveis a e imprevisíveis a partir da micro-estrutura da qual emergem
Causação descendente	Um sistema complexo exerce influência causal sobre seus componentes, modificando-os

Entretanto, com notável clareza, os autores dão-se conta da dificuldade desta abordagem e levantam vários problemas, como formulações de modelos imprecisas e conflitantes entre si ou, ainda pior, uma crença subjacente de que se pode obter algo de nada, que pode ser resumida em conhecidos bordões: “o todo é mais do que as partes” ou “mais é diferente”.¹⁵

¹⁵ ALMEIDA, A. M. O. *Op. cit.*

Trata-se de um modelo de mundo no qual há muitas camadas irredutíveis de realidade. Em cada uma destas camadas, propriedades ontologicamente novas são encontradas. A crença subjacente é de que este modelo, análogo a uma cebola, é o que melhor descreve o universo.

Uma conhecida lenda urbana, “O Fenômeno do Centésimo Macaco”, mostra até onde se pode chegar com tal forma de emergentismo. A lenda baseia-se em um fato real, ocorrido na década de 1940, em uma colônia de macacos onde novos comportamentos alimentares foram aprendidos devido a sua utilidade. Um escritor de livros de auto-ajuda modificou a história, segundo uma visão emergentista, na qual um salto da consciência espontâneo e misterioso é obtido quando uma massa crítica intelectual é atingida. Se uma quantidade suficientemente grande das pessoas pensa, ou aprende uma mesma coisa, uma espécie de processo de ruptura, um tipo de osmose mediúnica ocorre, levando toda a humanidade a pensar ou aprender a tal coisa sem exposição direta a ela.¹⁶

¹⁶ MYERS, E. The hundredth monkey revisited, 1985 [online] Disponível na Internet via WWW. URL: <http://www.context.org/ICLIB/IC09/Myers.htm>. Arquivo capturado em 14 de setembro de 2003.

Um exemplo concreto da difusão desta visão subjetiva de realidade: recentemente fui convidado para um seminário de promotores de justiça cujo título era “O milionésimo círculo” e, segundo seus proponentes, “era baseado numa simples hipótese: quando um número crítico de pessoas muda a forma de pensar e se comportar, a cultura também muda e uma nova era se inicia”. Se é emergente, não é necessário verificar se o mecanismo causal é plausível.

El-Hani, um dos mais importantes estudiosos da filosofia da emergência, admite que há um excesso de usos inadequados deste conceito e que não há uma única teoria sobre a emergência, a qual pode apresentar-se sob diversas formas e sabores. Ainda que defenda vigorosamente sua existência, aparentemente não consegue demonstrar sua existência real fora da mente humana.¹⁷

¹⁷ EL-HANI, C. N. *What's going on: mapping the central issues in the emergence debate. Part 1: Building the Map and Pursuing the Route of Weak Emergence*. Artigo submetido ao periódico *Synthese* em 2003.

O reducionismo

O reducionismo é uma crença metafísica de que podemos entender estruturas complexas examinando suas partes e que comportamentos aparentemente complicados são o resultado de comportamentos simples dos componentes. Neste sentido, é uma abordagem essencialmente determinista. Decorre dela que, na ausência de propriedades emergentes, não há irredutibilidade dos emergentes e não há, exceto por falta de métodos, imprevisibilidade.

É possível identificar três tipos de reducionismo no pensamento científico cotidiano. 1. O reducionismo ontológico é a posição metodológica de hierarquizar as estruturas, como, por exemplo, o modelo científico generalizado de que moléculas são feitas de átomos que, por sua vez, são feitos de partículas sub-atômicas e assim por diante. 2. O reducionismo metodológico propõe um método, então, para a exploração de sistemas mais complexos, desmembrando-os em sistemas mais simples até que se encontre um conjunto de sistemas simples o suficiente para serem descritos e explicados. 3. Já o reducionismo teórico refere-se a qualquer tentativa de descrever e explicar um campo do conhecimento, unicamente ou principalmente, dentro do paradigma de outro campo, hipoteticamente mais fácil de abordar.¹⁸ Este último, ainda que verdadeiro, não propicia uma abordagem muito factível, como veremos adiante.

¹⁸ GALANTER, P. *Op. cit.*

A principal crítica ao reducionismo metodológico é de que ele é limitado quando se examinam sistemas complexos e, por isso, leva a erros nas explicações causais. Ele é o vilão na filosofia da natureza. Há várias propostas sobre como superar este anacronismo metodológico. Uma delas,

a mais parcimoniosa, é o anti-reducionismo, que postula que o Universo é composto por diferentes níveis de organização e que em um nível de maior organização, surgem propriedades que não são reduzíveis ao nível anterior.¹⁹ Exemplo: um átomo de ouro não é amarelo, nem maleável, nem brilhante. Estas propriedades, segundo os anti-reducionistas, ocorrem com cerca de 10^{20} átomos, o que seria uma demonstração de como algumas propriedades novas decorrem de um aumento de complexidade.

Assim, como se pode ver, desde que o indivíduo não se sinta satisfeito com uma postura reducionista, não há muitas opções razoáveis além do emergentismo.

Historicamente, o reducionismo foi a crença hegemônica na Ciência até o início do século 20: uma natureza previsível, determinista e mecanicista.

Uma interpretação original para o sucesso do pensamento reducionista foi dada, na década de 1980, por dois biólogos marxistas²⁰. Segundo eles, em um período de 700 anos, desenvolveu-se uma visão da natureza que reflete a ideologia social burguesa, na qual o indivíduo é, ontologicamente, anterior ao grupo social. O reducionismo repetiu, na interpretação do Universo, os vícios da interpretação da sociedade e teve sucesso, pois avançou nos aspectos mais fáceis da ciência, como a física e a química. Os problemas mais complexos na explicação do mundo, como os problemas humanos, foram deixados à margem, pois não poderiam ser abordados por tal metodologia. Para estes cientistas, o erro de seus colegas burgueses ocorre quando tentam evoluir do reducionismo metodológico para uma visão de mundo emergentista, que inclui os conceitos de parte e de todo. Para eles não existiriam propriedades emergentes, que seriam um erro de percepção. A correção do erro é feita por uma mudança de modelo, no qual parte e todo apresentam uma relação especial, em que as propriedades das partes devem-se ao fato de comporem um determinado “todo”. Caso fossem componentes de uma outra estrutura, as propriedades das partes seriam outras.

Em resumo, o que Levins e Lewontin sugerem, no famoso e polêmico *The Dialectical Biologist*, é que o reducionismo é um vício de raciocínio que se adquire por nascer e crescer em uma sociedade individualista.²¹ Ao tentar se livrar do vício, o indivíduo é pego em uma rede de idéias que o leva a crer que existam propriedades emergentes. Trata-se de uma idéia bastante interessante, pois desloca o problema para a estrutura mental do cientista ou filósofo, ao invés de focá-lo na natureza. Talvez, então, os modelos

¹⁹ EL-HANI, C. N. & PEREIRA, A. M. A survey of explanatory methodologies for science teaching. I. reductionism, antireductionism and emergence. II. multiple realization, explanatory relevance and covariance. In: *Toward Scientific Literacy: The History & Philosophy of Science and Science Teaching Conference*, Calgary, Canadá, pgs. 230-251, 1997.

²⁰ LEVINS, R. & LEWONTIN, R. *The Dialectical Biologist*. Cambridge: Harvard University Press, 1985.

²¹ EL-HANI, C. N. & PEREIRA, A. M. *Op. cit.*

não reducionistas, como o emergentismo, possam ser vistos como uma facilidade mental. Como os problemas complexos talvez excedam a capacidade computacional do cérebro, uma divisão em níveis de organização, da menor para a maior complexidade, poderia facilitar, didática e pedagogicamente, a percepção do mundo, independentemente de seu vínculo com a realidade.

O cérebro é limitado e o mundo é muito complexo. Nestas condições, a seleção natural favoreceria o desenvolvimento de processos mentais (como algoritmos e heurísticas) que simplifiquem o processamento e o faça ocorrer em tempo hábil para favorecer a sobrevivência.²²

Uma hipótese complementar interessante é a de que a falta de uma estrutura matemática formal, como a encontrada na matemática aplicada à engenharia, para descrever os fenômenos que ocorrem na biologia, cria, entre os biólogos e outros menos afeitos ao cálculo, uma falsa crença em irredutibilidade, somando-se, muitas vezes, uma falsa sensação de complexidade.

*É freqüente acontecer que, se o número de componentes, em um dado sistema, alcança um certo limiar, entendê-lo sem ferramentas analíticas formais requeira [a mente de] um gênio, bastante raro até mesmo fora da biologia. Na engenharia, a escassez de gênios é compensada, pelo menos em parte, por uma linguagem formal que, com êxito, une os esforços de muitos indivíduos, assim alcançando um efeito desejado, quer seja o projeto de uma nova aeronave ou de um programa de computador. Em biologia, nós usamos vários argumentos para convencer a nós mesmos de que problemas que requerem cálculo podem ser resolvidos com aritmética se uma pessoa se esforçar bastante e promover outra série de experimentos.*²³

Ou seja, as propriedades emergentes podem estar contidas (serem intrínsecas) no nível anterior de explicação, podendo ser matematicamente derivadas dele, caso o pesquisador conheça os processos e condições de contorno. A limitação da nossa própria capacidade de processamento, no entanto, pode gerar uma propensão a acreditar precipitadamente em irredutibilidade.

No que se refere ao funcionamento do cérebro, um dos assuntos mais citados dentre aqueles que exigem complexidade para seu entendimento, a abordagem reducionista tem conseguido muitos avanços. Um bom exemplo é a identificação de neurônios do hipocampo que respondem a uma determinada localização geográfica (*place cells*). Elas

²² FLORES, R. & SCHÜLER, J. P. S. A evolução dos algoritmos mentais. In: EL-HANI, C. H. & VIDEIRA, A. A. P. *Estudos sobre o Pensamento Evolutivo* (no prelo).

²³ LAZEBNIK, Y. Can a biologist fix a radio? – or, what I learned while study apoptosis. *Cancer Cell*, 2: 179-182, 2002.

são a evidência de um código de navegação espacial baseado em células que respondem a marcas específicas na paisagem, ou seja, é mais uma demonstração de que a atividade neuronal responde pelos comportamentos complexos nos mamíferos.²⁴ A questão teórica por trás da existência de neurônios específicos que disparam apenas frente a uma configuração geográfica (uma determinada loja ou restaurante) é que eles são mais um passo na identificação física dos processos mentais, favorecendo a hipótese de que todos – ou muitos – processos cerebrais (ou mentais) possam ser descritos com heurísticas ou algoritmos e podem emergir, pelo menos em teoria, em um computador.²⁵ Já é possível encontrar modelos bastante sofisticados sobre o funcionamento da mente, incluindo hormônios, emoções e comportamento, que não utilizam propriedades emergentes e que prometem grandes avanços, no futuro, em modelos computadorizados dos processos decisórios mentais.²⁶

Conforme sugere o físico Steve Weimberg, são os conceitos que utilizamos que são emergentes, no sentido de que facilitam nossa compreensão do mundo. Por exemplo: os fenômenos estudados pela hidrodinâmica são o que são, inteiramente, pela natureza das partículas que compõem o líquido. Entretanto, ninguém ajuizado proporia que a hidrodinâmica, como ciência, fosse substituída pela física de partículas. Na maioria das vezes, aquilo que é tratado como um salto qualitativo na natureza é o resultado de uma dificuldade mental ou operacional:

Poderíamos dizer que o comportamento químico, o modo como as moléculas se comportam quimicamente, é explicado pela mecânica quântica e pela lei de Coulomb, mas não deduzimos o comportamento químico de moléculas complexas desta maneira. Podemos fazê-lo para moléculas simples: podemos explicar o modo pelo qual dois átomos de hidrogênio interagem para formar uma molécula de hidrogênio, resolvendo a equação de Schrödinger e esta metodologia pode ser estendida para moléculas muito grandes. Entretanto, não calculamos o comportamento químico do DNA pela resolução da equação de Schrödinger. Neste caso, precisamos, pelo menos, dar-nos conta de que, apesar de não calcularmos o comportamento químico destas moléculas complicadas pela mecânica quântica e pela lei de Coulomb, nós poderíamos fazê-lo se o desejássemos.. Temos um algoritmo, o princípio variacional que nos permite calcular qualquer coisa em química, desde que se tenha um computador suficientemente grande e estejamos dispostos a esperar o necessário.²⁷

²⁴ EKSOTRN, A. D. *et. al.* Cellular networks underlying human spatial navigation. *Nature*, 425: 184-187, 2003.

²⁵ EL-HANI, C. N. & PEREIRA, A. M. *Op. cit.*

²⁶ CAÑAMERO, D. A hormonal model of emotions for behavior control. 4^a European Conference on Artificial Life, 1997. [online] Disponível na Internet via WWW. URL: <http://cites.eer.nj.nec.com/canamero97hormonal.html>. Arquivo capturado em 4 de dezembro de 2003.

²⁷ WEINBERG, S. Newtonianism, reductionism and the art of congressional testimony. *Nature*, 330: 433-437, 1987.

No caso específico da Biologia, para tornar o assunto um pouco mais complexo, não há qualquer processo biológico que não possa ser explicado pela física e pela química. Pode não ser a escolha mais eficiente, pelos problemas computacionais envolvidos, mas é quase um truísmo afirmar que os processos biológicos são, apenas e exclusivamente, processos físicos e químicos. Mesmo assim, a crença dominante é de que a célula é uma estrutura que tem funções e propriedades novas, não podendo ser estudada somente com a física e a química. Entretanto, as áreas que mais progredem atualmente são as de abordagem mais reducionista, como a Biologia Molecular.

A Ecologia é um caso especial, pois um de seus objetos de estudo, os ecossistemas (entendidos aqui como uma mistura de organismos e ambiente físico), poderiam ser entidades emergentes, em um nível de complexidade acima do organismo e com novas propriedades. Uma análise mais profunda, porém, sugere que ecossistemas, como entidades reais, estão mais em nossa mente do que fora dela.²⁸ Talvez um ecossistema seja apenas a soma das relações entre seus componentes e aquilo que parece emergência seja causado pelo desconhecimento de algum de seus componentes, biológicos ou não. Isso fica especialmente claro com a questão da quantidade de energia em um ecossistema, que não poderá ser diferente da soma dos processos que a compõem sob pena de violar a lei da conservação das massas e energias.

²⁸ HIETT, P. J. The place of life in our theories. *Bio-systems*, 47: 157-176, 1998.

A indeterminação

A indeterminação é outra característica típica de sistemas complexos. Um de seus grandes problemas é saber-mos se algo é indeterminável pelo fato de não conhecermos todos os aspectos de um fenômeno ou se esta indeterminação faz definitivamente parte dele. Os dois exemplos mais citados de indeterminação costumam ser o papel da contingência na teoria evolutiva e o princípio da incerteza de Werner Heisenberg. Este último é especialmente usado por não físicos que desconhecem que há interpretações alternativas na mecânica quântica.

O princípio da incerteza seria o pilar, no mundo físico, da crença no livre arbítrio humano, pois permite muitas interpretações, inclusive religiosas, como esta, na qual uma interpretação é transformada em uma descoberta:

Em relação à descoberta de Heisenberg, [...], tudo quanto se pode dimensionar, até mesmo a verdade, não passa de uma resultante de como se observa o mundo e suas leis, as coisas e os fenômenos, bem como das perguntas que se

*podem fazer... Assevera que no mundo da realidade quântica existe um potencial infinito, do qual é possível conhecer-se apenas alguns aspectos. Isso equivale a dizer que um observador, conforme essa conceituação, é capaz de captar e entender tantos aspectos da verdade quantos lhe estejam ao alcance e propor perguntas que lhe sejam factíveis.*²⁹

²⁹ PASTORINO, C. T. Incerteza. *Reformador*, 2902: 22-24, 2003. [on-line] Disponível na Internet via WWW. URL: <http://www.panoramaespiritica.com.br/revistas/reformador/refjul03.pdf>. Arquivo capturado em 7 de dezembro de 2003.

Mas, como se trata de uma interpretação de dados experimentais, há posições divergentes bem estabelecidas como a de S. Weinberg:

*Nos primórdios da mecânica quântica, alguns físicos pensaram que ela devolvia o humano ao cenário, porque os princípios da mecânica quântica descrevem o que observadores encontrariam sob diversas condições. Mas, começando com os estudos de Hugh Everett, quarenta anos atrás, tem ocorrido uma reinterpretação da mecânica quântica como um desdobramento objetivo (e determinístico) da função de onda que descreve o observador, bem como o sistema observado. Este trabalho não está finalizado, assim não posso dizer que temos uma formulação objetiva completamente satisfatória da mecânica quântica, mas penso que a teremos [um dia].*³⁰

³⁰ WEINBERG, S. A Universe with no designer. *ANYAS*, 950:169-174, 2001.

Everett, em 1957, apresentou a “teoria da função de onda universal”, segundo a qual a função de onda não apenas codifica as informações sobre o objeto, mas tem uma existência objetiva, independente do observador e é, realmente, o objeto. O observador não desempenha nenhum papel especial na teoria. O importante, para os não especialistas, é que a propalada incerteza é uma opção matemática, conhecida como interpretação de Copenhagen, dentre outras possíveis.

O outro pilar da imprevisibilidade é a teoria evolutiva. Com o conhecimento atual, é bastante difícil, senão impossível, prever o futuro evolutivo de um determinado conjunto de genes, ou seja, de uma população. Para muitos a evolução é definitivamente imprevisível, devido ao aspecto aleatório das mutações. Entretanto, esta visão historicamente contingente da vida não corresponde a toda a verdade. O oposto da contingência é a convergência evolutiva, na qual duas ou mais linhagens desenvolvem, de maneira independente, estruturas ou funções similares. São exemplos de convergência: teias de aranhas e teias de insetos, a aerodinâmica de mariposas e beija-flores que pairam no ar, os sistemas sociais complexos de insetos e do rato-toupeira (*Heterocephalus glaber*) e cérebros grandes de cetáceos e primatas. Sistema de sangue quente, olhos e sonares são estruturas nas quais há vários casos de convergência evolutiva.

Assim, a justificativa para a natureza estatística da teoria evolucionária seria epistemológica, o nosso desconhecimento de aspectos do fenômeno.³¹

Podemos perceber que não há bases sólidas para que se aceite a indeterminação como uma realidade intrínseca da natureza. Essa posição não é consensual, na comunidade científica.

Resumindo, então.

Ao contrário do que sugerem El-Hani & Pereira, não é correto que o programa reducionista force a qualquer um, mais cedo ou mais tarde, a entrar em um beco sem saída. Entretanto, estão corretos quando mostram que não é viável descrever o mundo baseando-se em partículas cada vez menores.³² As necessidades computacionais cresceriam exponencialmente.

A opção por um modelo de realidade em camadas é apenas uma simplificação da realidade com fins práticos. É mentalmente mais fácil e fica dentro dos limites da capacidade de processamento do cérebro. É tão mais fácil que acaba ocorrendo um excesso de valorização de modelos inspirados na ciência da complexidade, como se estes fossem, sempre, as melhores opções na interpretação de fenômenos naturais complexos.

Talvez, no futuro, fique obviamente claro que uma ciência da complexidade é fundamental para o entendimento da natureza e, em especial, da natureza humana. Com as informações disponíveis atualmente, trata-se de uma possibilidade, dentre tantas outras, como a de que modelos complexos ou caóticos sejam necessários apenas em áreas restritas do conhecimento. Até então, por uma questão de parcimônia, uma abordagem reducionista é a melhor escolha para um contato inicial com um novo fenômeno. Pode-se evitar, por exemplo, que um cientista afirme, sem qualquer demonstração lógica ou empírica, que devemos, para abraçar uma ciência transdisciplinar, abrir mão do mecanicismo reducionista, para o qual “um remédio homeopático continua sendo água e, por definição clássica, não deve funcionar”³³. Como neste triste exemplo, o discurso sobre a complexidade tem servido muito mais para a negação do método científico e das ciências empíricas do que para, genuinamente, fazer com que o conhecimento sobre a natureza progreda.

³¹ WEBER, M. Determinism, realism, and probability in evolutionary theory. In: PSA (Philosophy of Science Association Meetings) 2000, [on-line]. Disponível na Internet via WWW. URL: <http://hyapatia.ss.uci.edu/lps/psa2k/drpet.pdf>

³² EL-HANI, C. & PEREIRA, A. M. Higher-level descriptions: why should we preserve them?. In: ANDERSEN, P. B.; EMMECHE, C.; FINNEMANN, N. O & CHRISTIANSEN, P. V. (eds.) *Downward Causation: Minds, Bodies and Matter*. Aarhus: Aarhus University Press, 2000. p. 118-142.

³³ GUERRINI, I. M. Sobre o complexo e o transdisciplinar, *Scientific American Brasil*, 19: 11, 2003.

Renato Zamora Flores é graduado em Medicina, doutor em Genética e Biologia Molecular e professor do Departamento de Genética da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. rzflores@ufrgs.br