

CONVERSANDO COM BERND-OLAF KÜPPERS

Daniel Sander Hoffmann¹

O professor Bernd-Olaf Küppers, que nos visitou por ocasião do simpósio internacional *Novos rumos da ciência: auto-organização e sistemas biológicos complexos*² tem já há algum tempo focado sua atenção em questões básicas das Ciências Naturais e da Filosofia da Ciência nas fronteiras da Física, Química e Biologia. Seu interesse científico cobre uma ampla gama de problemas, incluindo a teoria da auto-organização molecular, o estudo experimental da evolução pré-celular e as questões metateóricas da formação de teoria em Física e em Biologia.

Como pós-graduando na *Göttingen University*, onde estudou Física, Astrofísica e Matemática, ele estudou com o laureado Nobel, Manfred Eigen, e obteve seu título de Ph.D. em Biofísica pela *Technical University of Braunschweig*. De 1971 a 1993, trabalhou no *Max Planck Institute for Biophysical Chemistry*, em Göttingen. Dr. Küppers recebeu os títulos de *Distinguished Professorship* do governo japonês, em 1993, de doutor pela *Heidelberg University* e de doutor honorário pela *Nagaoka University of Technology*, no Japão. Desde 1994, é professor de Filosofia Natural na *Friedrich Schiller University*, em Jena.

Dr. Küppers é autor de cerca de 100 artigos acadêmicos e vencedor do *Woitschach Research Prize*, oferecido pela *German Association of Science Foundation* e co-editor do periódico internacional *Philosophia Naturalis* e membro dos comitês editoriais de muitos outros periódicos internacionais. Escreveu ou editou sete livros, incluindo as monografias *Molecular Theory of Evolution* (Springer, segunda edição 1985) e *Information and the Origin of Life* (MIT Press, 1990). Além disso, é membro do *Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina* e membro da *European Academy of Sciences and Arts*.

Hoffmann – *Dr. Küppers, muito obrigado por gentilmente concordar em nos conceder esta entrevista. Em uma entrevista concedida à Episteme, o filósofo da*

¹Programa de Pós-graduação em Genética e Biologia Molecular, Grupo Interdisciplinar em Filosofia e História das Ciências, ILEA/Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: hoffmanns@hotmail.com

²O simpósio internacional, realizado na UFRGS, Porto Alegre, de 9 a 11 de outubro de 2000, foi promovido pelo Grupo Interdisciplinar em Filosofia e História das Ciências (GIFHC) do Instituto Latino-Americano de Estudos Avançados da UFRGS (ILEA), em co-promoção com o Programa de Pós-Graduação em Genética e Biologia Molecular/UFRGS e com o Programa de Pós-Graduação em Psicologia Social e Institucional/UFRGS. Ver outras contribuições de conferencistas desse simpósio na *Episteme* números 11 e 12.

*Biologia Michael Ruse³ disse explicitamente que o conceito de auto-organização em Biologia é “uma droga”,⁴ e que em certo sentido indica o retorno do vitalismo. Mas em seu trabalho são enfatizados tanto a importância da auto-organização quanto o erro do vitalismo. Você, que é membro do comitê editorial do periódico *Selbstorganisation*, poderia tecer alguns comentários sobre isso? O que é auto-organização, afinal de contas?*

Küppers – Eu não compreendo as objeções de Michael Ruse. O conceito de auto-organização é um dos mais importantes da Biologia moderna. Ele essencialmente afirma que, dadas as substâncias apropriadas, os sistemas vivos podem organizar-se a si mesmos com base nas leis conhecidas da Física e da Química. Essa é a idéia básica subjacente à teoria físico-química da origem e evolução da vida que delineei alguns anos atrás em meu livro *Molecular Theory of Evolution*. O conceito de auto-organização é parte do assim chamado “programa reducionista de pesquisa”, que tem por meta reduzir todas as propriedades e fenômenos da vida aos processos físicos e químicos. Não existe elemento misterioso nele que pudesse justificar a suspeita de Michael Ruse de que o conceito de auto-organização representa um retorno à velha idéia do vitalismo. Deixe-me acrescentar outro ponto. A qualidade de um conceito científico não é uma questão de filosofia, ideologia ou simpatia. Ela somente pode ser julgada de acordo com a sua capacidade de resolver problemas. Com relação a isso, o conceito de auto-organização se torna indispensável para uma explicação adequada da origem e evolução primordial da vida. No entanto, para entendermos em detalhes o significado de “auto-organização” devemos considerar em mais detalhes o problema da organização biológica. A propriedade mais significativa da vida é seu enorme grau de organização material. Ele excede todas as ordens de complexidade conhecidas da matéria inanimada. Assim, na primeira metade do século XX, muitos físicos acreditavam que o fenômeno da organização biológica somente podia ser explicado pela ação de leis novas, mas ainda desconhecidas. Por essa razão, alguns físicos, como Max Delbrück, deixaram a Física em favor da Biologia, porque tinham esperança de encontrar as leis desconhecidas que supostamente governavam a vida. Aqueles físicos fizeram um trabalho brilhante em Biologia, mas nunca encontraram quaisquer novas leis físicas ou químicas. Essa falha indica que precisa haver outra fonte para a complexidade da vida. Hoje sabemos que a estrutura organizacional completa de um sistema vivo está codificada em suas “fronteiras” (*boundaries*). As fronteiras podem ser consideradas como restrições físicas que agem sobre as leis físicas e químicas. Elas têm a função de condições seletivas, que estreitam a gama de processos físicos possíveis para aqueles que estão realmente acontecendo no sistema – da mesma forma que uma pérola presa a um fio somente pode se mover em uma dimensão. De fato, o sistema

³Araújo, A. M. de.; Oliveira, D. L. de. Conversando com Michael Ruse. *Episteme*, n.8, p. 9-20, 1999.

⁴Do inglês, *bullshit*.

vivo é determinado por uma hierarquia complexa de fronteiras. Porém, mais impressionante é o fato de que todas as fronteiras do organismo vivo são por sua vez codificadas em uma fronteira primária, o genoma. Essas fronteiras primárias são representadas por estruturas macromoleculares tais como as moléculas de DNA ou RNA. Assim, para compreendermos a origem e evolução da vida devemos entender a origem e evolução de fronteiras físicas específicas (*i.e.*, não-contingentes), começando por algumas condições físicas não-específicas (*i.e.*, contingentes). Existem modelos convincentes de que, em sistemas vivos envolvendo algum tipo de *feedback* dinâmico, esse processo evolutivo pode ocorrer espontaneamente, quando as fronteiras modificam-se a si mesmas passo a passo. Este é o significado mais profundo do conceito de auto-organização.

Hoffmann – *Em um artigo intitulado Understanding Complexity;⁵ você escreveu na introdução que “o programa reducionista de pesquisa parte das premissas epistemológicas de que não existe uma diferença importante entre a matéria viva e a não-viva, e que a transição do não-vivo para o vivo precisa ser considerada como sendo quase-contínua, nela não estando envolvidos princípios outros que os princípios gerais da Física e da Química”. Talvez você pudesse fornecer uma clarificação técnica nesse ponto.*

Küppers – É impossível fazer pesquisa científica sem aceitar algumas premissas epistemológicas e regras metodológicas. Por exemplo, aos padrões do método científico pertence o procedimento analítico. De acordo com essa estratégia, a qual na verdade remonta a Descartes e a Newton, deve-se decompor um sistema em fragmentos de forma a que se possa compreender o todo a partir das interações entre suas partes. Qualquer explicação causal em Ciência requer tais passos analíticos. Eles são necessários para se identificar “causas” e “efeitos” em uma rede de interações. Outro critério metodológico é o da simplicidade. Ele afirma que se deve sempre buscar minimizar o número de premissas e pré-condições. Seguindo essa regra, deve-se sempre buscar explicar os sistemas vivos dentro da estrutura da Física e da Química, e evitar introduzir quaisquer novas forças, princípios, leis, etc., que estão fora do alcance da Física. O programa reducionista de pesquisa segue exatamente essas regras metodológicas. Ele começa com a premissa de que não existe uma diferença importante entre o vivo e o não-vivo, e que todos os fenômenos da vida poderiam – ao menos em princípio – ser reduzidos analiticamente à interação de processos físicos e químicos.

Hoffmann – *No mesmo artigo, você escreveu que “deve-se abandonar a idéia de que os fenômenos de emergência e causação descendente emergem subitamente quando a matéria alcança um certo nível de complexidade. Ao invés disso, ambos os*

⁵KUPPERS, B. Understanding Complexity. In: BECKERMAN, A.; FLOHR, H.; KIM, J. (eds.). *Emergence or Reduction? Essays on the Prospects of Nonreductive Physicalism*. New York: Walter de Gruyter, 1992. p. 241-256.

fenômenos precisam ser pensados como epifenômenos da matéria auto-organizadora que continuamente emergem quando a matéria desdobra sua complexidade organizando-se a si mesma [grifos do entrevistador]”. Você poderia explicar isso para o leigo?

Küppers – Deixe-me primeiro explicar o que “emergência” e “causação descendente” significam. O primeiro termo, “emergência”, denota um fenômeno que pode ser descrito por uma premissa bem conhecida: “o todo é mais do que a soma de suas partes”. O segundo termo, “causação descendente”, representa em certo sentido o complemento dinâmico da primeira premissa: “o todo determina o comportamento de suas partes”. Alguns filósofos da Biologia acreditam que ambas as frases se referem a alguns aspectos irreduzíveis da matéria viva, e que os aspectos de “totalidade” demonstram as limitações do programa reducionista de pesquisa. No entanto, pode ser demonstrado que “emergência” e “causação descendente” denotam fenômenos que “emergem” em todos os níveis da realidade, de átomos a organismos vivos, e que ambos os fenômenos podem ser muito bem explicados dentro da estrutura da Física e da Química. Em meu livro *Information and the Origin of Life* você encontrará os exemplos correspondentes. Os exemplos, tomados da Física e da Química, demonstram muito claramente que “emergência” e “causação descendente” não podem ser consideradas como caracterizando qualquer diferença ontológica ou epistemológica entre a matéria viva e a não-viva.

Hoffmann – O que é complexidade? Você considera “complexidade” e “complicação” como sinônimos?

Küppers – A resposta a essa questão é muito difícil. Isso se deve principalmente ao fato de que existe um grande número de significados diferentes associados à palavra “complexidade”. Entretanto, há um conceito matemático, a teoria da complexidade algorítmica, que dá à noção de complexidade um significado preciso e que pode ser aplicada a uma ampla gama de fenômenos. Essa teoria, a qual foi desenvolvida independentemente por Solomonoff, Kolmogorov e Chaitin, leva em conta o fato de que a complexidade de uma estrutura tem algo a ver com sua *incompressibilidade*. A idéia básica desse conceito pode ser mais bem demonstrada com o auxílio de um exemplo biológico. Vamos considerar a estrutura de uma molécula de DNA que codifica alguma informação genética. Esse DNA é constituído de quatro classes de nucleotídeos (A, T, G e C) e pode ser representado por uma série complexa de dígitos binários. Agora, podemos perguntar se aquelas seqüências podem ser geradas por algoritmos simples, *i.e.*, por algoritmos que são menos complexos que as seqüências em si. Obviamente, somente podemos esperar encontrar um algoritmo se a seqüência é não-aleatória. Na medida em que não encontramos tal algoritmo, consideramos a seqüência correspondente como sendo incompressível. Pode ser o caso de que existe realmente um algoritmo. Mas isso não pode ser provado, porque nunca podemos provar a não-existência de alguma coisa. Mas tão logo encontremos um algoritmo apropriado, *i.e.*, mais curto, a seqüência – gerada por esse algoritmo – se mostra “complicada”, porém não mais “complexa” como

antes. Assim, a afirmação de que uma dada seqüência possui uma complexidade *inerente* pode somente ser formulada como uma declaração hipotética. Para resumir a resposta à sua segunda questão: a noção de “complicado” é de caráter epistemológico, a de “complexo” é de caráter ontológico.

Hoffmann – *O que é informação? Como você vê a importância relativa da teoria da informação de Shannon e da teoria algorítmica da informação? Quais são suas diferenças e o que elas têm em comum?*

Küppers – A teoria algorítmica da complexidade pode ser aplicada a seqüências binárias que podem ser portadoras de informação em potencial. Por isso, essa teoria é também chamada de “teoria algorítmica da informação”. A diferença mais característica entre a teoria da informação de Shannon e a teoria algorítmica da informação pode ser descrita como segue: informação – de acordo com Shannon – deve remover incerteza. Portanto, foi uma idéia conseqüente de Shannon colocar a medida de informação em uma relação recíproca à sua probabilidade de expectativa. Em outras palavras: quanto mais baixa a probabilidade de expectativa para uma mensagem, maior é o conteúdo informacional dessa mensagem, se essa mensagem é recebida pelo receptor. Assim, a medida informacional de Shannon sempre se refere a uma fonte de informação. Ela é necessariamente definida sobre uma distribuição de probabilidades que descreve os valores de expectativa para todas as informações potenciais que podem se originar dessa fonte. No entanto, dentro da estrutura da teoria algorítmica da informação o conteúdo informacional é medido pela incompressibilidade do portador individual de informação. Esse conceito descreve muito melhor a complexidade codificada pela informação genética do que a informação de Shannon. Há alguns anos atrás, eu apliquei pela primeira vez o conceito da teoria algorítmica da informação ao problema da origem e evolução da vida, para clarificar e dissolver várias questões epistemológicas fundamentais. Penso que a aplicação da teoria algorítmica na Biologia levou a uma revolução real nas fundações teórico-informacionais da Biologia. Para uma representação abrangente da teoria, eu gostaria de fazer referência ao meu livro *Information and the Origin of Life*.

Hoffmann – *O que é vida?*

Küppers – Uma resposta a esse problema depende de forma crucial da questão de se existe ou não uma fronteira definida entre o vivo e o não-vivo. Vamos primeiro considerar o caso de que *existe* uma fronteira definida entre a matéria viva e a não-viva. Nesse caso, pode-se (em princípio) apresentar critérios necessários e suficientes para a definição da vida. Mas para se ter uma definição completa deve-se pagar um preço elevado. Pois cada definição completa envolve ao menos um critério que descreve a diferença ontológica entre o vivo e o não-vivo, a qual por razões fundamentais não pode ser reduzida às propriedades físicas da matéria. Nesse caso, a vida está sendo definida por algum critério que é específico à vida. Em outras palavras: cada definição “completa” de vida é irreduzível e, portanto, tautológica. Vamos agora considerar o caso alternativo. Vamos assumir que *não existe* uma fronteira definida entre a matéria viva e a não-viva, e que a transição do não-vivo para o vivo é quase-contínua. Nesse

caso, a definição somente pode envolver critérios necessários, mas não suficientes. Assim, por razões de princípio, a definição precisa ser incompleta, sendo mais ou menos arbitrários quais objetos chamamos de vivos ou não. A definição depende exclusivamente da perspectiva científica que adotamos. Por exemplo, um bioquímico pode considerar vivo um sistema se este se reproduz, se apresenta algum metabolismo (*i.e.*, *turnover* de energia livre) e se ele está sujeito a mutações. Um biólogo celular certamente listará propriedades adicionais, especialmente a de compartimentalização. E eu suponho que um neurobiólogo definirá como sendo vivo um sistema que apresenta alguma organização neural primitiva. O problema de se definir vida demonstra que somente podemos fazer ciência dentro do contexto de abstrações. Entretanto, no caso presente, isso conduz a uma situação paradoxal. Para darmos uma descrição física completa da origem da vida devemos assumir que a transição do não-vivo para o vivo é quase-contínua. Mas, nesse caso, necessariamente temos de trabalhar com uma definição incompleta de vida.

Hoffmann – *Como você vê a pesquisa em vida artificial?*

Küppers – Este campo de pesquisa é uma interessante aplicação do conceito de auto-organização. Ele tem essencialmente dois ramos experimentais. Um deles lida com os processos de auto-organização e evolução *in vitro*. Esse ramo da vida artificial foi iniciado por Sol Spiegelman e seus colaboradores em seus clássicos experimentos com a evolução do genoma Qb no tubo de ensaios. Eu mesmo estive envolvido com esse tipo de estudo experimental no início da década de setenta. Durante os últimos vinte anos, essas técnicas se desenvolveram em um novo tipo de biotecnologia denominado “evolução artificial”. Por intermédio dessa tecnologia, os princípios da vida são simulados sob controle experimental para se gerar e otimizar substâncias bioquímicas que não são encontradas na Natureza. O outro ramo de vida artificial estuda processos auto-organizadores com o auxílio de simulações computacionais. Esses experimentos têm muitas implicações teóricas e práticas para as ciências da computação. Mas são também importantes para aprendermos mais sobre os princípios gerais de auto-organização e evolução de estruturas complexas.

Hoffmann – *Você aceita a “versão dura” da Alifé, que afirma que as criaturas virtuais estão realmente vivas?*

Küppers – Já que a vida somente se desenvolveu sobre a Terra uma vez, não temos um critério independente para a definição de vida. Assim, seguindo o programa reducionista de pesquisa, cada definição de vida envolve um aspecto normativo que denota a linha demarcatória entre o vivo e o não-vivo. Portanto, cada noção de *vivo* deve ser relacionada ao ponto onde pretendemos fazer o corte entre o vivo e o não-vivo. Como disse antes, a linha demarcatória é mais ou menos arbitrária, porque depende da perspectiva científica que adotamos com relação a um sistema vivo. Portanto, é uma questão de gosto pessoal quais diferenças entre as formas de vida autênticas e suas derivações artificiais você deseja aceitar.

Hoffmann – *E o que se pode dizer sobre o significado de experimentos *in silico*, ou experimentos computacionais?*

Küppers – Não há dúvida de que experimentos computacionais desempenham um papel importantíssimo nas ciências modernas. Eles já substituíram em extensão considerável o experimento físico clássico. Especialmente nas ciências da vida, onde lidamos com sistemas de extraordinária complexidade, simulações computacionais são indispensáveis. No entanto, devemos estar conscientes do fato de que experimentos computacionais apenas simulam a realidade, mas nunca representam a realidade em si. Existe sempre o perigo latente de se gerar algum tipo de pseudo-realidade ou realidade virtual devido à má interpretação e interpretação exagerada de dados resultantes de experimentos computacionais. Portanto, devemos ser muito sensíveis e críticos com respeito aos valores cognitivos de experimentos computacionais.

Hoffmann – *Você consideraria que a Biomatemática tem, ou virá a ter um dia, o estatuto de uma disciplina totalmente independente, como alguns pesquisadores parecem sugerir?*

Küppers — A Biomatemática não é apenas uma mera aplicação de técnicas matemáticas a problemas biológicos. Pelo contrário, a Biomatemática precisa ser considerada como uma disciplina científica autônoma, ou melhor, semi-autônoma, que inclui ramos muito importantes da Matemática aplicada como a Cibernética, a Teoria dos Jogos, a Teoria da Informação, a Teoria das Catástrofes, a Teoria dos Sistemas, etc. Essas são disciplinas científicas que pertencem à ampla gama de ciências estruturais. Além da Física e Química tradicionais, as ciências estruturais constroem o esqueleto para a fundação teórica da Biologia. Além disso, a importância crescente das ciências estruturais para a compreensão da complexidade indica uma interessante mudança de paradigma na ciência moderna. É a mudança do estudo das propriedades da matéria, que são o principal objeto de investigação da Física e Química tradicionais, para o estudo das *relações funcionais entre estruturas abstratas*.

Hoffmann – *De acordo com o seu ponto de vista, que tipo de problemas ainda esperam por uma solução na ciência teórica e na Filosofia da Ciência?*

Küppers – É verdade que cada solução de um problema científico induz a pelo menos dois novos problemas. Esse é o caráter progressivo da descoberta científica, e não parece haver um fim para esse processo. Assim, não faz sentido selecionar um problema individual que ainda espera por uma solução. Em vez disso, deixe-me tentar esboçar o cenário geral para a pesquisa futura. Adicionalmente, restringirei minhas considerações ao meu próprio domínio científico, *i.e.*, a Biologia evolutiva. Mas deixe-me primeiro descrever o atual quadro da pesquisa. Não existe dúvida de que o conceito darwinista de evolução (incluindo a genética moderna) é o melhor conceito teórico que temos em Biologia. Ele verifica a famosa afirmação de Theodosius Dobzhansky de que “nada em Biologia faz sentido, exceto à luz da evolução”. De fato, o conceito darwinista de evolução é tão importante para a Biologia moderna quanto a física newtoniana foi para o desenvolvimento da Física moderna. Mas, como no caso da física newtoniana, não podemos esperar que o conceito darwinista será a última palavra. A história da ciência demonstra claramente que todos os conceitos básicos das ciências naturais foram depois melhorados. E de fato ainda

existem alguns percalços da Biologia evolutiva que até agora não encontraram uma solução satisfatória. Deixe-me discorrer um pouco mais sobre esse ponto: a Biologia molecular mostrou que todos os processos biológicos podem ser interpretados em termos de armazenamento, transmissão, processamento e geração de informação. Mesmo o conceito darwinista em si pode ser traduzido para a linguagem da teoria da informação, de modo que podemos reformular a afirmação de Dobzhansky, dizendo que “nada em Biologia faz sentido, exceto à luz da informação”. Mas se olhamos cuidadosamente para o conceito de informação, notamos que a *informação em um sentido absoluto não existe*. A informação está sempre relacionada a alguma outra informação ou contexto portador de informação. Em face deste fato, devemos indagar *se a informação genética pode ser gerada a partir do nada, como a teoria darwinista parece implicar*. No presente momento, podemos apenas especular sobre a resposta. No entanto, alguns resultados de minha pesquisa recente indicam que a resposta será “não”. Se isto se demonstrar verdadeiro, deveremos modificar nossa compreensão comum da evolução. Nesse caso, o desenvolvimento evolutivo da informação genética não pode mais ser considerado como um processo de geração de informação a partir do nada. Ao invés disso, o processo precisa ser considerado como um processo de desdobraimento e transformação permanente de informação em um ambiente complexo. Entretanto, uma abordagem rigorosa desse problema requer uma fundamentação teórica do aspecto semântico da informação. Mas a noção de “semântica” excede a estrutura tradicional das ciências naturais, e devemos procurar por novas vias. De novo, a teoria algorítmica da informação parece oferecer alguns caminhos promissores. Esses são os problemas nos quais estou interessado correntemente.

Hoffmann – *Quem é Bernd-Olaf Küppers (Küppers descrito por si mesmo) em poucas palavras?*

Küppers – Tudo que pode ser objetivado com relação à minha pessoa você já apresentou em sua gentil introdução. Assim sendo, gostaria apenas de acrescentar uma curta observação. Em um jornal alemão, um jornalista certa vez chamou-me de “cruzador de fronteiras”.⁶ Penso que essa é uma caracterização muito boa de minha personalidade científica. De fato, se vamos atacar um problema fundamental da ciência como o da origem da vida, devemos cruzar reincidentemente as fronteiras entre as disciplinas científicas. E, algumas vezes, precisamos trilhar rotas completamente novas, que ninguém trilhara anteriormente. Isso requer não apenas imaginação e idéias não convencionais, mas acima de tudo muita autoconfiança e coragem.

Hoffmann – *Muito obrigado, Dr. Küppers, por essa oportunidade única de conhecermos melhor o pensamento de uma das mais ilustres personalidades científicas de nossos tempos.*

⁶Do inglês, *border crosser*.