

Vol.1 — N.1 Abril 2021



CADERNOS CEBRAP SUSTENTABILIDADE

Working Papers

| A Ciência da Sustentabilidade

JOSÉ ELI DA VEIGA



CEBRAP

O Centro Brasileiro de Análise e Planejamento - CEBRAP - foi criado em 1969 para ser um espaço de produção de conhecimento crítico e independente no Brasil. O foco da instituição é a análise da realidade brasileira, com um estilo de trabalho que enfatiza a comparação e combina a especialização e a interdisciplinaridade, em diálogo constante entre as diferentes perspectivas teóricas e metodológicas das áreas de origem de seus pesquisadores: sociologia, política, demografia, direito, filosofia, história, antropologia, economia e geografia.

Presidente

Marcos Nobre

Diretor Científico

Raphael Neves

Diretora Administrativa

Graziela Castello



CEBRAP SUSTENTABILIDADE

ISSN 2764-1937

O Cebrap Sustentabilidade - Núcleo de Pesquisa e Análises sobre Meio ambiente, Desenvolvimento e Sustentabilidade, dedica-se à produção de conhecimentos voltados a favorecer formas inovadoras de tratamento do tema ambiental e que estejam sintonizadas com os principais avanços realizados pela comunidade científica nacional e internacional. Os estudos, eventos e publicações produzidos pelo núcleo se apoiam em rigor científico e excelência e pela busca em qualificar o debate público no Brasil, tendo como parceiros uma pluralidade de atores favoráveis a uma transição sustentável e inclusiva. Cinco temas concentram as pesquisas do Cebrap Sustentabilidade: Mudanças climáticas; Governança ambiental policêntrica; Biodiversidade, água, alimentos e energia; Cidades e regiões na transição para a sustentabilidade; Epistemologia da sustentabilidade.

Coordenador

Arilson Favareto

<https://cebrapsustentabilidade.org>

E-mail: sustentabilidade@cebrap.org.br

Cadernos Cebrap Sustentabilidade – Textos para Discussão - Working Papers

Publicação seriada que divulga resultados de estudos e pesquisas em desenvolvimento pelo Cebrap Sustentabilidade com o objetivo de fomentar o debate e oferecer subsídios à comunidade científica e aos tomadores de decisão públicos e privados atuando em temas ambientais e suas interfaces com a agenda econômica e política do país.

As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e inteira responsabilidade dos autores, não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista do Cebrap.

É permitida a reprodução deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte. Reproduções para fins comerciais são proibidas.

A Ciência da Sustentabilidade

José Eli da Veiga

RESUMO: O status teórico do que, há vinte anos, vem sendo chamado de ‘Ciência da Sustentabilidade’, parece tão ou mais contestável que o da dita ‘Ciência do Sistema Terra’. Este texto sugere que ambas dependeriam principalmente do desenvolvimento da ‘*Teoria da Complexidade*’.

ABSTRACT: The theoretical status of what has been called ‘Sustainability Science’, seems as much or more contestable than that of ‘Earth System Science’. This text suggests that both would depend mainly on the development of the ‘*Complexity Theory*’.

PALAVRAS-CHAVE: Sustentabilidade, Sistemas, Complexidade, Teoria Geral dos Sistemas, Teoria da Complexidade, Antropoceno.

KEY WORDS: Sustainability, Systems, Complexity, General Systems Theory, Complexity Theory, Anthropocene.

Duas ousadas iniciativas estão pretendendo romper com a propensão das teorias científicas à crescente especialização disciplinar: a “Ciência do Sistema Terra” e a “Ciência da Sustentabilidade”. Ao tentarem superar a histórica distância entre humanidades e ciências, ambas se propõem a integrar conhecimentos necessários ao estudo conjunto e simultâneo das quatro grandes dinâmicas históricas da Terra: do planeta, da vida, da natureza humana e da civilização. Mesmo referindo-se, com mais frequência, ao que seriam “três esferas” de um “sistema” - geosfera, biosfera e antroposfera - ou, de forma ainda mais restrita, aos dois termos do mais trivial binômio “natureza-sociedade”.

Destes dois ambiciosos empreendimentos científicos, avançou mais o consagrado ao dito “Sistema Terra”. Surgiu em meados dos anos 1980, graças a dois fortes impulsos anteriores: a relutante adoção da teoria dos movimentos globais da litosfera, ou “tectônica de placas”, pela velha Geologia; seguida, desde os anos 1970, pela influência da hoje célebre “Gaia”, hipótese que tem incentivado muitos pesquisadores a enfrentar imenso desafio transdisciplinar. Mas algo desse tipo só desabrochou a partir de 1986-1988, nos relatórios “Earth System Science”, da NASA. Ótima retrospectiva da “emergência e evolução” desta nova ciência foi publicada, em janeiro de 2020, na seção “Perspectives”, da primeira edição mensal do novo periódico *Nature Reviews – Earth & Environment* (Steffen et al., 2020).

Nada de comparável existe sobre a “Ciência da Sustentabilidade”, tão ambiciosa quanto, mas, com certeza, ainda mais recente. Depois de estreitar em importante relatório sobre sustentabilidade (NRC,1999), evoluiu, ao longo dos vinte anos subsequentes, principalmente nas páginas do periódico “PNAS” (Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America), mas também em outros dois bem menos importantes: *Sustainability Science* e *Sustainability*. Chegou a ser mencionada no editorial da primeira edição mensal da revista *Nature Sustainability*, em janeiro de 2018, mas não tem sido relevante em suas posteriores pautas.

Não há evidências persuasivas, portanto, sobre a legitimidade desta nova ciência transdisciplinar. Tais iniciativas poderiam apontar, ao contrário, para a ‘sustentabilidade’ como objeto de pesquisas aplicadas – multidisciplinares, ou até transdisciplinares - mas sem teoria. A rigor, ‘sustentabilidade’ parece ter emergido muito mais como um valor, do que como conceito central de uma nova ciência (Scarano, 2019).

Daí a importância de se examinar o que pode haver de mais significativo sobre a “Ciência da Sustentabilidade”, principalmente para investigar se as dificuldades teóricas seriam semelhantes às enfrentadas pela “Ciência do Sistema Terra” (Veiga, 2019). Neste sentido, a ambição deste texto é de ser uma contribuição apenas epistemológica à história das ciências, ainda bem distante de desejáveis e imprescindíveis abordagens sociológicas e antropológicas.

Retrospectiva

Graças à publicação, pela revista *Science*, de curtíssimo artigo intitulado “Sustainability Science”, foi, principalmente, a partir de maio de 2001 que tal expressão (com maiúsculas) começou a ter algum impacto. Seis meses antes, seus 23 autores – principalmente ecólogos – haviam se encontrado em Friibergh (Suécia), para workshop sobre o tema, no qual o professor William C. Clark, de Harvard (autor-correspondente), parece ter tido papel mais protagonista que o titular: Robert W. Kates (pesquisador independente, após precoce título de emérito da Brown University). Duas décadas depois, o artigo permanece em primeiro lugar – com bem mais de três mil citações – em busca por “sustainability science” no Google Acadêmico (Kates et al., 2001).

Foram assim realçadas as sete questões centrais da nova ciência: 1) Como as interações dinâmicas entre natureza e sociedade – incluindo defasagens e inércia – podem ser melhor incorporadas em modelos e conceituações emergentes que integram o sistema Terra, o desenvolvimento humano e a sustentabilidade? 2) Como as tendências de longo prazo em meio ambiente e desenvolvimento, incluindo consumo e populações, estão remodelando as interações natureza-sociedade de maneiras relevantes para a sustentabilidade? 3) O que determina a vulnerabilidade ou resiliência do sistema natureza-sociedade em lugares, ecossistemas e modos de vida humanos? 4) Podem ser cientificamente definidos “limites” ou “fronteiras” que forneceriam um aviso efetivo das condições além das quais sistemas natureza-sociedade incorreriam em alto risco de grave degradação? 5) Quais sistemas de incentivos – incluindo mercados, regras, normas e informações científicas – podem efetivamente melhorar a capacidade social para orientar as interações entre natureza e sociedade para trajetórias mais sustentáveis? 6) Como os atuais sistemas operacionais de monitoramento e avaliação das condições ambientais e sociais podem ser integrados ou estendidos para fornecer orientações mais úteis para os esforços de transição para a sustentabilidade? 7) Como as

atuais atividades relativamente independentes de planejamento, monitoramento, avaliação e suporte a decisões de pesquisa podem ser melhor integradas aos sistemas de gerenciamento adaptativo e aprendizado social?

O pioneiro artigo na *Science* também propôs estratégias de pesquisa e apontou seus requisitos institucionais. Mas, em termos teóricos, revelou duas sérias debilidades. Principalmente nas quatro primeiras perguntas, já que as demais tiveram mais caráter normativo, ou político-operacional, nem chegando a ser propriamente científicas.

A primeira debilidade, está na referência a três fenômenos – “sistema Terra, desenvolvimento humano e sustentabilidade” – a serem integrados em novos “modelos e conceituações”. Como o texto deixa bem claro, os autores não consideravam o desenvolvimento humano como componente do “sistema Terra”, além de pretenderem integrar, a ambos, o recente novo valor “sustentabilidade”. Depois, a notória ambiguidade do recorrente substantivo composto “natureza-sociedade”, tratado simultaneamente como “sistema”, “sistemas” ou “interações”.

Diante de tão frágil argumentação em favor de se considerar a sustentabilidade como nova ciência, é até bem surpreendente constatar certa consagração da proposta nos últimos vinte anos. Por isso, antes de explorar alguns dos principais marcos de tal evolução, o melhor é, desde logo, chamar a atenção para o teor do primeiro editorial da *Nature Sustainability*, de janeiro de 2018. Nota-se facilmente a principal diferença com a retórica de 2001: o grande realce dado à “complexidade inerente ao sistema humano-natural”. Só mediante entendimento de tal complexidade se poderá garantir a durabilidade do sistema, diz o editorial.

“Sustainability experts appreciate the inherent complexity of the human-natural system and work with it. Their view is clear: it is only by gaining a better understanding of such complexity that we can enlighten our actions and ensure that the system will last.” (Editorial da *Nature Sustainability*, vol. 1, nº 1, Janeiro de 2018.)

O desafio da complexidade não havia sido, até então, omitido. Ao contrário, até havia surgido bem no início – embora com ínfimo destaque – nas 380 páginas de histórico relatório do “National Research Council”, baseado nos resultados de cinco seminários preparatórios, em 1996 e 1997 (NRC, 1999).

Porém, àquela altura, ainda era muito pouco conhecido – e ainda menos utilizado – o parco conhecimento disponível sobre complexidade. A elaboração de tal relatório não contou com nenhum dos cientistas impulsionadores de seu embrionário desenvolvimento ao longo dos dez anos anteriores.

Mais: tal distanciamento teórico permaneceu durante o vertiginoso crescimento da literatura sobre a “Ciência da Sustentabilidade”, seja nas páginas dos *PNAS* (a qual criara uma seção especial em 2006), ou em dois outros periódicos consagrados ao tema: o eletrônico *Sustainability: Science, Practice & Policy*, a partir de 2005, e o japonês *Sustainability Science*, a partir de agosto de 2006.

Nada de diferente ocorre no livro lançado, em 2011, pela Universidade das Nações Unidas. Considerou a nova ciência “multidisciplinar”, em vez de inter ou transdisciplinar (Komiyama et al., 2011). Muito menos em pomposo, mas bem decepcionante, “relatório”, lançado em 2015, por parceria da Elsevier com a SciDev.Net (Elsevier, 2015).

Enfim, é mais produtivo saltar para o primeiro sinal de clara mudança, em vez de colecionar ainda mais evidências sobre a massacrante inércia do padrão anterior, chamado de “sistêmico” (Rutherford, 2019), ou mesmo de “sistemologia” (Rousseau et al., 2018).

Somente em dezembro de 2019 surgiu claro sinal de que pesquisadores interessados na “Ciência da Sustentabilidade” poderiam estar se dando conta de quanto sua ambição estaria na dependência de respostas científicas a uma problemática teórica bem mais profunda: a da “complexidade”. Este sinal está em recente “*working paper*”, de 101 páginas, liderado pelo premiado ecólogo William C. Clark, de Harvard (Clark e Harley, 2019), justamente quem primeiro havia tratado do tema na *Science*, dezoito anos antes, como autor-correspondente (Kates et al., 2001).

Em busca de síntese

Tão bem-vindo documento de trabalho descreve seis capacidades necessárias à promoção do desenvolvimento sustentável: 1) medi-lo; 2) promover equidade; 3) adaptação a choques e surpresas; 4) colocar o sistema em caminhos mais sustentáveis de desenvolvimento; 5) vincular conhecimento a ação; e 6) conceber arranjos de governança que apoiem ações coletivas capazes de nutrir recursos compartilhados, promover a equidade e enfrentar a incerteza na busca pela sustentabilidade. Considerações sobre estas seis capacidades constituem o grosso das 101 páginas, depois de curto capítulo sobre alguns marcos teóricos.

Mesmo assim, desde as primeiras linhas do *abstract*, seus dois autores – William C. Clark e a pós-doutoranda Alicia G. Harley – afirmam ter encontrado, no relevante “*scholarship*”, argumento convincente de que, no Antropoceno, as interações entre natureza e sociedade constituem um ‘sistema adaptativo complexo’ interconectado globalmente, no qual desempenham papéis formativos: a heterogeneidade, os relacionamentos não lineares e a inovação.

Para Clark e Harley, a dinâmica de tal sistema poderia ser parcialmente guiada mediante intervenções apropriadas, mesmo na impossibilidade de ser totalmente prevista. Por isso, além de sintetizarem os diversos tratamentos científicos da sustentabilidade, os autores procuraram construir uma “estrutura integradora” capaz de realçar os mais importantes elementos e relações para a compreensão de um estranhamente intitulado “Sistema Antropocênico” (“*Anthropocene System*”).

Então, antes de examinar as pouco mais de duas páginas consagradas à “complexidade” (tópico 2.3), é imprescindível apresentar e discutir a justificativa para tal neologismo. Segundo a dupla, a expressão “Sistema Antropocênico” estaria se tornando cada vez mais popular em muitas tradições de pesquisa. Basicamente como alternativa às outras duas sem hífen: ‘Sistema Terra’ e ‘Sistema Global’. Ambas também voltadas a capturar o mesmo objeto de estudo da “Ciência da Sustentabilidade”, “cada uma com seus méritos e sua bagagem” (nota de rodapé 2, p.1). Mas só “Sistema Antropocênico” exprimiria a ideia de um sistema cada vez mais marcado pelo entrelaçamento global e íntimo da natureza e da sociedade.

Tal afirmação chega a ser bizarra, pois a ideia de Antropoceno está se tornando cada vez mais popular é como nova Época, pós-Holoceno, não “sistema”. Pior: ocorrências da expressão “Anthropocene System” continuam simplesmente nulas, além de ser bem duvidoso o uso de ‘sistema’ - no singular - para designar o cada vez mais íntimo entrelaçamento entre natureza e sociedade.

Se não excluir algum dos principais componentes desse tal “sistema” – chamado de global, Terra ou antropocênico - qualquer adepto da sistemologia certamente será levado a pensar nas interações, ou articulações, entre quatro ‘subsistemas’ - litosfera, biosfera, humanidade e civilizações – em vez da tão banal fórmula “natureza-sociedade”. Assim, ele também seria levado a pensar nestes quatro organizados em outro, maior, que os totalizaria. Não seria melhor, então, se perguntar o quanto é razoável manter o padrão cognitivo do próprio “pensamento sistêmico” ou “sistemologia”?

Como enfatiza Edgar Morin (1977a:140-205; e 1977b), foi imenso avanço científico a ascensão da ideia de sistema para substituir a fixação em ‘objetos’ autônomos e isolados, objetivamente submetidos a leis universais. Antes pensava-se assim: a natureza de um objeto seria melhor revelada pelo isolamento experimental e todos os fenômenos poderiam ser entendidos como composições ou mesclas de tais objetos, como elementos essenciais e reais detentores de suas propriedades fundamentais. Eram simplesmente proscritas referências ao ambiente do objeto, ou ao observador. E apenas como acessório era considerada sua organização.

No decorrer do século XIX, tão radical reducionismo triunfou em todas as áreas e domínios do conhecimento. Mas tal contexto, no qual o átomo era o objeto dos objetos - puro, inteiro, irreduzível - foi drasticamente subvertido no início do século XX. O átomo passou a ser visto como sistema constituído de partículas em mútuas interações. E nem deu tempo para a partícula vir a ocupar o lugar anterior de unidade elementar: foi logo atingida por uma dupla crise, de ordem e de identidade, pois é impossível isolá-la de forma precisa no tempo e no espaço. Mesmo suas interações não podem ser separadas da observação. Hesita nessa dupla e contraditória identidade onda/corpúsculo (Morin 1977a:140-205; e 1977b).

Não bastasse, as partículas têm mais propriedades do sistema do que o próprio sistema tem das partículas. Então, o átomo passa a ser encarado sobre novas bases, como objeto organizado (ou sistema), não podendo mais ser entendido somente pela natureza de seus constituintes

elementares. Ao contrário, tal entendimento está em sua índole organizativa e sistêmica, transformadora da própria natureza de seus componentes (Morin 1977a:140-205; e 1977b).

A partir daí, emerge uma dominante ‘sistêmica’ comum a todos os rincões do conhecimento científico. Não tarda para se impor a todos os horizontes do conhecimento. O universo passa a ser concebido como arquipélago de sistemas em oceano de desordem (Morin 1977a:140-205; e 1977b).

Se algo parece ter demorado um pouco, foi a teorização de tão poderosa vitória da sistêmica: somente em 1950, tornando-se coqueluche na década de 1960. Mas a chamada ‘Teoria Geral dos Sistemas’ nunca foi uma teoria ‘do’ sistema, como bem cedo ressaltou Edgar Morin (1977a:140-205; e 1977b).

Dúvida existencial

A atual “sistemologia” já tem mais de setenta anos, se a referência for o trabalho, por muitos considerado seminal, de Ludwig von Bertalanffy, na *Science*, em 1950. Por isso, é fundamental conhecer o atual debate entre os membros da ISSS, International Society for the Systems Sciences, fundada, em 1956, como ‘Society for General Systems Research’ (SGSR), pelo próprio Bertalanffy, na excelente companhia de Kenneth Boulding, Ralph Gerard e Anatol Rapoport.

Em 2007, surgiu forte contestação em seminário interno on-line, no qual negou-se a própria existência de algo digno de ser chamado de ‘Teoria Geral dos Sistemas’, na qual a expressão ‘Systems Science’ foi qualificada de *dubio marketing* (“*a dubious trademark*”).¹

A resposta a tão séria dúvida existencial só foi dada oito anos depois, na 59ª conferência da sociedade, por bem coeso quarteto de filósofos britânicos, sob a liderança de David Rousseau, fundador e diretor executivo do Centre for Systems Philosophy, além de presidente da ISSS. Veio na forma de um manifesto em favor de uma desejável “General Systems Transdisciplinarity”, com balanço bem negativo dos setenta anos de esforços anteriores.

¹ http://www.newciv.org/ISSS_Primer/ase01cf.html

Segundo tal manifesto, desde os anos 1950 os pesquisadores de sistemas desenvolveram dezenas de teorias especializadas centradas em estruturas e comportamentos sistêmicos específicos. No entanto, permanece elusiva uma poderosa e integradora transdisciplina de sistemas. Ao mesmo tempo, com a especialização, veio uma divergência de visões de mundo e domínios de discurso, resultando em fragmentação prejudicial à capacidade do pensamento sistêmico de reunir respostas integradas aos atuais desafios. Não existe teoria unificadora para o campo dos sistemas (Rousseau et al., 2016:8).

Porém, três anos depois do lançamento do tal manifesto, e dez anos depois da grave provocação feita no citado seminário on-line, outra contribuição do protagonista Rousseau, mas desta feita individual, apostou numa espécie de renascimento da abordagem sistêmica, apontando seis “avenidas” abertas à descoberta de princípios sistêmicos.

Ele ressalta a incipiência da compreensão científica da integridade de um sistema, apesar de as pesquisas sobre o tema terem surgido formalmente na década de 1950. Esta falha produz altos riscos para a engenharia e prática de sistemas complexos, diz Rousseau. Para ele, os “princípios sistêmicos” seriam “heurísticas qualitativas”, e a ciência de sistemas seria mais científica em termos de atitude e menos por qualquer base em conceitos claros e quantificáveis. O autor se propõe, então, a abrir caminhos para a descoberta de verdadeiros princípios sistêmicos. Para isso sugere as tais seis avenidas (Rousseau, 2017:1).

Ora, se em 2017 o presidente da mais importante organização internacional do ramo faz uma proposta desse tipo, como é possível serem tantos os pesquisadores para os quais existe uma teoria geral sobre a questão? Só pode ser por tenderem a dar muito valor a avanços extraídos de suas pesquisas empíricas, sem dar importância à difícil dúvida epistemológica causada por tão polissêmico e cacofônico emprego do termo ‘sistema’, gerador de infindável lista², além de quarenta teorias.³

² Ver https://en.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:WikiProject_Systems/List_of_systems

³ Ver a lista em https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_types_of_systems_theory; https://en.wikipedia.org/wiki/Systems_theory

Aí está a filiação epistemológica das pesquisas sobre o “sistema Terra”, ou, como agora preferem Clark e Harley, sobre o “sistema Antropoceno”. Para saber a razão dessa dupla não se ter filiado à concorrente “Cibernética”, seria necessário um exercício arqueológico ainda não realizado. O problema pode estar, contudo, no contraste entre seu êxito tecnológico e sua heurística.

As ideias cibernéticas deram origem às modernas ciências cognitivas, mas não se mostraram tão transdisciplinares quanto as ideias sistêmicas. A rigor, a esperança do movimento cibernético por uma ciência unificada de controle e comunicação não se realizou, talvez por ter tido menos conteúdo e mais extensão. A Cibernética abrangia uma variedade de assuntos muito díspares e seu aparato teórico era muito escasso e complicado para alcançar a unificação epistemológica desejada pelo movimento (Dupuy, 1994).

Mesmo assim, duas das principais precursoras da atual teoria da complexidade foram, com certeza, a cibernética e a sistêmica. Além delas, só parecem merecer menção algumas aplicações da física à sociologia, iniciadas no fim dos anos 1990 (Watts e Strogatz, 1998; Barabási e Albert, 1999; Albert e Barabási, 2002). Deram origem ao atual campo de pesquisas frequentemente chamado de “Ciência das Redes” (Barabási, 2002, 2010, 2014; Watts 2003, 2011).

No texto de Clark e Harley não há qualquer sinal de reconhecimento da real importância de tamanha evolução cognitiva. Sim, tratam da “complexidade”, mas superficialmente. Nem tanto por a terem relegado a pouco mais de duas páginas, consagradas a um dos cinco tópicos do segundo capítulo. Muito mais pelo próprio conteúdo do tópico, pois incorporou exclusivamente as repercussões da complexidade em pesquisas ecológicas, sem mínima referência à enroscada dinâmica mapeada por Brian Castellani.⁴

⁴ Ver: https://www.art-sciencefactory.com/complexity-map_feb09.html

Dois contrassensos

A diferença essencial entre complexidade e complicação está no fenômeno chamado de ‘emergência’. Alguns exemplos certamente facilitam seu entendimento: a umidade *emerge* de interações entre moléculas de água em determinado intervalo de temperaturas, a sinfonia *emerge* da execução de muitos instrumentos individuais, ou a junção do cabo e da cabeça do martelo capaz de fazer *emergir* a função intrínseca à ferramenta. São novidades qualitativas, resultantes da interação entre partes de um conjunto, mas ausentes em cada uma delas.

Mas este é um daqueles casos cujas aparências se mostram das mais enganadoras. Para se dar conta, basta uma espiada em qualquer dicionário ou enciclopédia de filosofia. Chega a ser quase incompreensível o debate sobre seus possíveis significados. Vem de 1875, teve um eclipse entre 1930 e 1950, e desde então ficou cada vez mais intrincado.

Tamanho imbróglio filosófico em nada atrapalhou, contudo, as contribuições do conceito de emergência para avanços científicos nos âmbitos da física, da biologia, da neurologia ou da matemática. Não é imprescindível alcançar as altitudes ontológicas da noção de emergência para tais proezas científicas ocorrerem e serem entendidas. Basta pragmaticamente adotar sua versão maliciosamente taxada de “fraca”, por se restringir à epistemologia.

Continuam a ser chamados de sistemas todos os conjuntos de componentes nos quais há emergências. Do imune ao econômico, passando por um cérebro ou por um formigueiro, também não faltam exemplos análogos de amplas redes auto-organizadas fazendo *emergir* – mediante simples esquemas operacionais e sem qualquer controle central – sofisticados comportamentos e tratamento de informações. E a maior parte de tais conjuntos também tem capacidade adaptativa, seja por evolução, como por aprendizado.

Então, pode-se distinguir os não-adaptativos, chamados de ‘físicos’ (“CPS” no acrônimo inglês), dos mais abundantes “CAS”, ‘sistemas adaptativos complexos’. Mas a real importância de tal distinção divide grandes autoridades no tema. O físico John Henry Holland (1925-2015) a tinha como fundamental, a ponto de separá-los em dois capítulos em seu último livro (Holland, 2014). Já a autora do melhor guia sobre

complexidade, a cientista da computação Melanie Mitchell (2009), fez o inverso, com justificativa em mero parêntesis: são adaptativos a imensa maioria dos sistemas tratados em seu livro.

(“In this book, as most of the systems I do discuss are adaptive, I do not make this distinction”). Mitchell (2009: 13)

Mas isto aponta para a existência de dois sérios contrassensos no tratamento teórico dado à complexidade por Clark e Harley. Primeiro, por extrapolarem o marco teórico prevalente em estudos sobre ‘sistemas sócio-ecológicos’ - todos sempre adaptativos (CAS) - para seu “sistema Antropoceno”. Seja lá o que possa ser tal coisa, ela não exclui sistemas não-adaptativos (CPS). Segundo, porque, os estudos por eles referenciados não totalizam os sistemas estudados em algo parecido com o chamado “sistema Terra”, por mais que enfatizem interações diretas e crescentes entre as dimensões sociais e ecológicas.

Sobre o primeiro contrassenso, já diz tudo o próprio título da mais recente visão geral (*overview*) citada por Clark e Harley: “Social-ecological systems as complex adaptive systems” (Preiser et al., 2018). Trata-se de ótima síntese dos conhecimentos sobre o tema desenvolvidos por ecólogos, desde as pioneiras contribuições de Simon A. Levin, diretor do ‘Center for BioComplexity’ de Princeton (Levin, 1998, 2002). Foi quem liderou 17 expoentes de diversas disciplinas em artigo de muito peso sobre modelagem e implicações para políticas públicas desses mesmos sistemas adaptativos e complexos, como são os sistemas sócio-ecológicos (Levin et al, 2012). Mas, por só tratarem de sistemas vivos, nada mais normal os não-adaptativos terem sido deixados de lado nessas duas contribuições.

É recorrente tal tendência em se considerar os sistemas sócio-ecológicos como se fossem uma totalidade, mantendo esquecidos os sistemas não adaptativos, sem nada de “social”, onipresentes na primeira das quatro dimensões da história da Terra, a inorgânica. O problema ocorre até em excelentes contribuições, como a de Schoon e Van Der Leeuw (2015).

Mais grave, contudo, parece ser o outro contrassenso, pois, no mais relevante trabalho destacado por Clark e Harley, seus três renomadíssimos autores - Kenneth Arrow, Paul Ehrlich e Simon Levin (2014) - evitam agregar ecossistemas e arranjos socioeconômicos em algum sistema singular, seja qual for o nome a ele atribuído. Discutem,

claro, “ligações e paralelos” entre economia e biosfera, mas fazendo questão de tomar muita distância da hipótese Gaia, considerada frágil metáfora. Uma única vez cometem o deslize pleonástico “*global ecosystem complex adaptive system*”, sem adotar qualquer ideia parecida a ‘sistema Terra’ ou ‘sistema Antropoceno’.

Torre de Babel

Como já foi dito, do sistema imune ao mercado, passando por um cérebro ou por um formigueiro, não faltam exemplos análogos, nos quais amplas redes auto-organizadas fazem emergir – mediante simples esquemas operacionais e sem qualquer controle central – sofisticados comportamentos e tratamento de informações. E a maior parte de tais conjuntos também tem capacidade adaptativa, seja por evolução, como por aprendizado. Esta talvez possa ser a mais concisa resposta à interrogação sobre o significado da complexidade.

Porém, mesmo desconsiderando inúmeras retóricas não-científicas sobre o tema, é imensa a dispersão das abordagens propriamente científicas. Por isso, é impossível, por enquanto, vislumbrar razoável consenso. A situação seria menos insatisfatória se, ainda assim, ao menos já fosse possível organizar as aproximações disponíveis em algumas correntes ou tendências. Mas não. Quanto mais o pesquisador avança na exploração da literatura pertinente, mais aumenta a sensação de uma espécie de Torre de Babel.

Impossível notar qualquer tipo de convergência nos excelentes artigos publicados pelo cinco periódicos científicos mais consagrados ao tema. Por ordem de antiguidade: *Journal of Complexity* (desde 1985), *Complex Systems* (1987), *Complexity* (1995), *Complexity International* (1996), *Emergence: Complexity and Organization* (1999).

Quanto a livros, pode-se começar por selecionar alguns dos 51 recomendados neste site: <https://bookauthority.org/books/best-complexity-theory-books> Sejam quais forem os critérios eliminatórios retidos, fatalmente se notará, entre os finalistas, sérias divergências nas possíveis maneiras de se entender a complexidade. Por isso, não são obsoletas duas coletâneas de entrevistas com pesquisadores da complexidade, publicadas nos primeiros anos do século: pelo marroquino Réda Benkirane (2002) e pelo mexicano Carlos Gershenson

(2008). E a primeira traz no título os termos “promessas” e “vertigens”.

Dá para entender, então, por que, no final do século passado, o célebre jornalista científico John Horgan havia sido tão impiedoso e mordaz ao explorar os resultados de suas próprias entrevistas – realizadas até 1996 – com a dúzia dos principais pesquisadores, ironicamente tachados de “caoplexologistas”: Ilya Prigogine, Stuart Kaufman, Murray Gell-Mann, Philip Anderson, John Holland, Seth Lloyd, Gregory Chaitin, Per Bak, Mitchell Feigenbaum, Joshua Epstein, Norman Packard e Christopher Langton.

Além de ressaltar a existência de 31 definições de complexidade (conforme uma misteriosa lista que teria sido compilada pelo físico Seth Lloyd), o livro de Horgan (1996) sobre os limites de conhecimento científico revela, no demolidor oitavo capítulo, muitas incoerências, mesmo no interior do coeso grupo pioneiro fundador do Instituto Santa Fé, a partir do Laboratório Nacional de Los Alamos.

Também estão bem longe de convergir a dúzia das melhores obras introdutórias disponíveis: Szilagy (s/d), Arthur (2015), Miller (2015), Holland (2014), Mitchell (2009), Johnson (2007), Rescher (1998), Kauffman (1995), Gell-Mann (1994), Lewin (1992), Waldrop (1992) e Bonner (1988).

Cabe perguntar, então, se não seria ilusório (ou mesmo ingênuo) o grande entusiasmo com os “sistemas adaptativos complexos” por parte dos desbravadores da ‘Ciência da Sustentabilidade’, como é o caso dos dois citados pesquisadores de Harvard, William C. Clark e Alicia G. Harley. E a resposta mais prudente talvez seja do tipo “nem tanto ao mar nem tanto à terra”. Afinal, razoáveis pesquisas sobre a complexidade só começaram a surgir em meados da década de 1980, pouco tempo para o que promete vir a ser uma das mais profundas viradas na história da ciência. Ou este século não será o da complexidade, segundo a profecia de Stephen Hawking (2000)?

Em vez de procurar “a” definição científica de complexidade – aparentemente tão improvável quanto as definições de vida, consciência ou amor – pode ser bem mais produtivo dar atenção às reflexões do físico teórico Geoffrey West sobre “as leis universais do crescimento, da inovação, da sustentabilidade e do ritmo de vida em

organismos, cidades, economias e empresas”, o longo subtítulo de seu livro *Scale* (2017).

Embora o autor tenha inicialmente trabalhado com física quântica, no célebre Laboratório Nacional de Los Alamos, foi ali perto, no Instituto Santa Fé, a partir dos anos 1990, seu trabalho de equipe com dois macroecólogos – James H. Brown e Brian J. Enquist – para desenvolver pesquisas de fronteira sobre sistemas complexos, tanto biológicos quanto socioeconômicos.

Com a ajuda de 81 figuras, ilustrativas de medições matemáticas, West (2017) mostra como foram ficando cada vez mais curtos os intervalos entre as vinte mais impactantes inovações surgidas desde o aparecimento da vida até a invenção do computador pessoal. Das quais, mais da metade precederam o processo civilizador. Melhor: demonstra a existência de surpreendentes regularidades e similaridades entre inúmeros fenômenos biológicos e socioeconômicos, principalmente referentes às “leis de escala”, origem da teoria metabólica da ecologia e da alometria, ramo da biologia.

Ao arriscar previsão sobre a iminência da próxima onda revolucionária de inovações tecnológicas – nos anos 2030 – West chega a propor uma avaliação teórica da conhecida tese de Ray Kurzweil (2005) sobre a “singularidade”. Mesmo demonstrando certo ceticismo, não deixa de sugerir que passará por tal debate a possibilidade de se chegar ao que surpreendentemente chama de “grande teoria unificada da sustentabilidade” (West, 2017:411-448). Talvez mera manifestação da fissura dos físicos por ‘teorias unificadas’ ...

Finalmente, mas não menos importante, é chamar a atenção para a dificuldade encontrada por todos os pesquisadores citados ao relacionarem a complexidade à teoria darwiniana da evolução. Quase sempre a evolução aparece como um dos mais importantes vetores da complexidade, mas também há quem prefira a direção oposta, discutindo a evolução da complexidade (Corning, 2005), ou definindo adaptação, diversidade e complexidade como os três pilares da evolução (Brandon e McShea, 2020). Pior que uma Torre de Babel, então.

Conclusão

Assim como ocorre com a “Ciência do Sistema Terra”, a “Ciência da Sustentabilidade” permanece prisioneira da suposta “teoria geral dos sistemas”, esboçada nos anos 1950. No caminho de eventual superação, ambas se deparam com as “promessas” e as “vertigens” da “teoria da complexidade”, iniciada nos anos 1980, condicionante de tratamento transdisciplinar das quatro dinâmicas históricas da Terra: planeta, vida, natureza humana e civilização.

Ao procurar evidenciar este duplo impasse, a revisão apresentada neste artigo faz pensar em coevolução de duas iniciativas científicas transdisciplinares, podendo talvez resultar, no futuro, em uma única nova ciência, fruto de uma espécie de simbiose ou hibridação.

No entanto, por sequer ser uma hipótese testável, tal sugestão deve ser entendida apenas como conjectura útil ao acompanhamento dos resultados de próximas pesquisas, pois certamente mostrarão o compasso de aproximação ou distanciamento entre tão abrangentes propostas heurísticas.

Enquanto isso, as duas candidatas a ciências transdisciplinares parecem participar de uma espécie de disputa por legitimação, na qual a “Ciência do Sistema Terra” está bem mais adiantada, mas em clara desvantagem potencial quando se considera a maior abrangência, pertinência, relevância e oportunidade de uma “Ciência da Sustentabilidade”.

Seja qual for o desenlace, uma coisa já parece certa: tudo dependerá do desenvolvimento da “teoria da complexidade”. Nada disso poderá avançar enquanto não for possível desfazer a ilusão meramente “sistemológica”.

REFERÊNCIAS

- ALBERT, Réka e Albert-László Barabási (2002) “Statistical mechanics of complex networks”. *Reviews of Modern Physics*, 74, pp. 48-97.
- ARROW, Kenneth J.; Paul R. Ehrlich e Simon A. Levin (2014) “Some Perspectives on Linked Ecosystems and Socio-Economic Systems”. Capítulo 3 de *Environment and Development Economics; Essays in honour of Sir Partha Dasgupta*. Editado por Scott Barrett; Karl-Göran Mäler e Eric S. Maskin. Oxford U.P.
- ARTHUR, W. Brian (2015) *Complexity and the Economy*. Oxford University Press.
- BARABÁSI, Albert-László (2014) *Linked – How Everything Is Connected to Everything Else and What It Means for Business, Science, and Everyday Life*. Basic Books.
- BARABÁSI, Albert-László (2010) *Bursts – The Hidden Pattern Behind Everything We Do*. Penguin.
- BARABÁSI, Albert-László (2002) *Linked – The New Science of Networks*. Perseus.
- BARABÁSI, Albert-László e Réka Albert (1999) “Emergence of scaling in random networks”. *Science*, 286:509-512.
- BENKIRANE, Réda (2002) *La Complexité, vertiges et promesses; 18 histoires de sciences*. Paris : Le Pommier.
- BONNER, John Tyler (1988) *The Evolution of Complexity by Means of Natural Selection*. Princeton University Press.
- BRANDON, Robert N. e Daniel W. McShea (2020) *The Missing Two-Thirds of Evolutionary Theory*. Cambridge University Press.
- CLARK, William C., e Alicia G. Harley (2019) *Sustainability Science: Towards a Synthesis*. Sustainability Science Program Working Paper 2019-01, John F. Kennedy School of Government, Harvard University, Cambridge, MA.
- CORNING, Peter A. (2005) *Holistic Darwinism: synergy, cybernetics, and bioeconomics of evolution*. University of Chicago Press.
- DUPUY, Jean-Pierre (1994) *Aux origines des sciences cognitives*. Ed. La Découverte. (Reedição em 1999 e reimpressão em 2005).
- ELSEVIER (2015) *Ciência da Sustentabilidade em um Cenário Global*, <https://www.elsevier.com/pt-br/about/corporate-responsibility/sustainability-science-in-a-global-landscape>
- GELL-MANN, Murray (1994) *The Quark and the Jaguar – Adventures in the Simple and the Complex*. W. H. Freeman. (1996) *O Quark e o Jaguar – As aventuras no simples e no complexo*. Rio de Janeiro: Rocco.
- GERSHENSON, Carlos (2008) *Complexity: 5 Questions*. Copenhagen: Automatic Press/VIP.
- HAWKING, Stephen (2000) “Unified Theory is Getting Closer, Hawking Predicts”, *San Jose Mercury News*, 23 de janeiro.
- HOLLAND, John H. (2014) *Complexity; A Very Short Introduction*. Oxford U.P.

- HOLLAND, John H. (1998) *Emergence: From Chaos to Order*. Perseus Books.
- HOLLAND, John H. (1995) *Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity*. Reading, Mass.: Addison-Wesley. *A Ordem Oculta: Como a Adaptação Gera a Complexidade*. Lisboa: Gradiva, 1995.
- HORGAN, John (1996) *The End of Science: Facing the Limits of Knowledge in the Twilight of the Scientific Age*. Broadway Books. (1999) *O Fim da Ciência: Uma Discussão sobre os Limites do Conhecimento Científico*, Companhia das Letras, 2ª reimpressão: 1999.
- JOHNSON, Neil (2007) *Simply Complexity – A clear guide to complexity theory*. Oneworld.
- KATES, Robert W.; William C. Clark; Robert Corell; J. Micheal Hall; Carlo C. Jaeger; Ian Lowe; James. J. McCarthy; Hans Joachim Schellnhuber; Bert Bolin; Nancy M. Dickson; Sylvie Faucheux; Gilberto C. Gallopin; Arnulf Gruebler; Brian Huntley; Jill Jäger; Narpat S. Jodha; Roger E. Kasperson; Akin Mabogunje; Pamela Matson; Harold Mooney; Berrien Moore III; Timothy O’Riordan e Uno Svedin. (2001) “Sustainability Science”, *Science* v. 292, nº 5517, 27 de abril de 2001, p. 641-2.
- KAUFFMAN, Stuart (1995) *At Home in the Universe – The Search for Laws of Self-Organization and Complexity*. Oxford University Press.
- LEVIN, Simon; Tasos Xepapadeas; Anne-Sophie Crépin; Jon Norberg; Aart de Zeeuw; Carl Folke; Terry Hughes; Kenneth Arrow; Scott Barrett; Gretchen Daily; Paul Ehrlich; Nils Kautsky; Karl-Göran Mäler; Steve Polasky; Max Troell; Jeffrey R. Vincent; Brian Walker (2012) “Social-ecological systems as complex adaptive systems: modeling and policy implications”. *Environment and Development Economics* 18: 111-132.
- LEVIN, Simon A. (2002) “Complex adaptive systems: exploring the known, the unknown and the unknowable”. *Bulletin of the American Mathematical Society*, vol. 40, nº 1, p. 3-19.
- LEVIN, Simon A. (1998) “Ecosystems and the Biosphere as Complex Adaptive Systems”. *Ecosystems* (1998)1: 431-436.
- LEWIN, Roger (1992) *Complexity – Life at the Edge of Chaos*. Chicago University Press. (1994) *Complexidade – A Vida no Limite do Caos*. Rio de Janeiro: Rocco.
- KOMIYAMA, Hiroshi; Kazuhiko Takeuchi; Hideaki Shiroyama e Takashi Mino (eds.) (2011) *Sustainability Science: A Multidisciplinary Approach*. Tokyo: United Nations University Press.
- KURZWEIL, Ray (2005) *The Singularity is Near – When Humans Transcend Biology*. New York: Viking.
- MILLER, John H. (2015) *A Crude Look at the Whole – The Science of Complex Systems in Business, Life, and Society*. Basic Books.
- MITCHELL, Melanie (2009) *Complexity: A Guided Tour*. Oxford University Press.

- MORIN, Edgar (2008) *La Méthode*. Coleção Opus – Paris : Seuil. Edição conjunta dos seis tomos: (1977a) *La Nature de la Nature* (t.1); (1980) *La Vie de la Vie* (t.2); (1986) *La Connaissance de la Connaissance* (t.3); (1991) *Les Idées* (t.4); (2001) *L’Humanité de l’Humanité* (t.5); (2004) *L’Éthique* (t.6).
- MORIN, Edgar (1977b) « Le système, paradigme ou/et théorie ». Conferência inaugural, Congresso AFCET (Associação Francesa para a Cibernética Econômica e Técnica), Versalhes, 21 de novembro de 1997. In: Morin (1990:239-255).
- NASA (1988) *Earth System Science – A Closer View*. Washington D. C.: National Aeronautics and Space Administration.
- NASA (1986) *Earth System Science – Overview*. Washington D. C.: National Aeronautics and Space Administration.
- NRC (1999) - National Research Council. *Our Common Journey: A Transition Toward Sustainability*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/9690>.
- PREISER, Rika; Reinette Biggs; Alta De Vos e Carl Folke (2018) “Social-ecological systems as complex adaptive systems”. *Ecology and Society* 23(4):46.
- ROUSSEAU David. (2017) “Systems Research and the Quest for Scientific Systems Principles”. *Systems* 2017, 5, 25, p. 1-16.
- ROUSSEAU, David; Jennifer Wilby; Julie Billingham e Stefan Blachfellner (2018) *General Sistemology; Transdisciplinarity for discovery, insight and innovation*. (coleção Translational Systems Sciences), Springer.
- ROUSSEAU David, Wilby, J., Billingham, J., & Blachfellner, S. (2016). Manifesto for General Systems Transdisciplinarity. *Systema* 4(1), Special Issue – General Systems Transdisciplinarity: 4-14.
- RUTHERFORD, Albert (2019) *Learn to Think in Systems. Use System Archetypes to Understand, Manage, and Fix Complex Problems and Make Smarter Decisions*. Kindle Direct Publishing.
- SCARANO, Fabio Rubio (2019) “The emergence of sustainability”, in L.H.Wegner e U. Lüttge (eds.) *Emergence and Modularity in Life Sciences*, Springer Nature Switzerland, p. 51-66. https://doi.org/10.1007/978-3-030-06129-9_3
- SCHOON, Michael, and Sander Van Der Leeuw. 2015. “The Shift toward Social-Ecological Systems Perspectives: Insights into the Human-Nature Relationship.” *Natures Sciences Societies* 23 (2): 166-74. <https://doi.org/10.1051/nss/2015034>
- STEFFEN, Will; Katherine Richardson; Johan Rockstrom; Hans Joachim Schellnhuber, Opha Pauline Dube; Sébastien Dutreuil; Timothy M. Lenton e Jane Lubchenco (2020) “The emergence and evolution of Earth System Science”, *Nature Reviews – Earth & Environment*, vol. 1, nº 1, Janeiro 2020, p. 54-63.
- SZILAGYI, Miklos N. (s/d) *Complexity: A Primer*. (Apostila disponível no kindle).

- VEIGA, José Eli da (2019) *O Antropoceno e a Ciência do Sistema Terra*. Editora 34.
- WALDROP, M. Mitchell (1992) *Complexity - The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos*. Simon & Schuster.
- WATTS, Duncan (2011). *Everything Is Obvious Once You Know the Answer - How Common Sense Fails Us*. Crown Business.
- WATTS, Duncan (2003) *Six Degrees: The Science of a Connected Age*. Norton
- WATTS, Duncan e Steven Henry Strogatz (1998) “Collective dynamics of ‘small world’ networks”. *Nature* 393:440-442.
- WEST, Geoffrey (2017) *Scale - The Universal Laws of Growth, Innovation, Sustainability, and the Pace of Life in Organisms, Cities, Economies, and Companies*. Penguin Press.



Visite nosso site em <https://cebrapsustentabilidade.org>