

1. Artigo resultante do Projeto de Pesquisa "Teoria e história da mimesis da natureza na arquitetura ocidental" financiado pela Fapemig (APQ-01394-08) e pelo FIP PUC Minas (2208/3399-2S)

2. Doutor em Teoria e Historia de la Arquitectura (UPC, Barcelona, 2005), especialista em Arquitectura Contemporânea: projeto e crítica (IEC/PUC Minas, 1999), graduado em Arquitectura e Urbanismo, graduado em Engenharia Civil, professor adjunto III do Departamento de Arquitectura e Urbanismo da Pontificia Universidade Católica de Minas Gerais.

# **DE/PARA ARQUITETURA: A CIÊNCIA DA COMPLEXIDADE<sup>1</sup>**

*FROM/TO ARCHITECTURE: THE SCIENCE OF COMPLEXITY*

Antonio Carlos Dutra Grillo<sup>2</sup>

## **Resumo**

A partir da identificação de manifestações arquitetônicas recentes alusivas à ciência contemporânea, o trabalho traça uma caracterização geral da ciência da complexidade, buscando esclarecer seus conceitos fundamentais e seus horizontes filosóficos. Nesse panorama, revela-se um universo complexo, pautado por conceitos como auto-organização, não-linearidade, acaso, imprevisibilidade e indeterminação; revela-se também que esses conceitos estão presentes em todo sistema dinâmico, incluindo a sociedade e o corpo humano, em níveis biofísico e psicossocial. Ao final, ressalta-se o amplo potencial das relações entre a ciência contemporânea e a cultura e a arquitetura, confirmando-se a premissa inicial de que a citada produção arquitetônica, que faz uma leitura predominantemente formalista dessas relações, explora apenas uma das facetas que nos sugerem essas relações.

**Palavras-chave:** Arquitetura; Ciência da complexidade; Complexidade; Natureza.

## **Abstract**

Starting from the identification of ties between the contemporary architectural production and concepts originated from the science of complexity, this essay delves deeply into that science, in an effort to shed light on its main concepts and philosophical horizons. This panoramic approach unveils a complex universe dotted with concepts such as self-organization, non-linearity, chance, unpredictability and indetermination; moreover, it highlights the pertinence of these concepts to any dynamic system, which includes society as well as the human body, both at biophysical and at psychosocial level. In analyzing contributions made by the science of complexity to culture and architecture, a markedly symbolic and formalistic trend is detected in the contemporary architectural production, insofar as it incorporates scientific concepts while revealing limited consideration for the potential of that new scientific view of nature.

**Key words:** Architecture; Science of complexity; Complexity; Nature.

## **[De:] Uma arquitetura da complexidade**

Na última década do século XX se pôde verificar, no cenário arquitetônico mundial, um claro fenômeno de aproximação da arquitetura às ciências naturais contemporâneas, mais especificamente à chamada ciência da complexidade. Vários dos conceitos que caracterizam essa nova ciência passaram a ser frequentes no discurso e nas formas de vários arquitetos em todo o mundo – entre eles vários dos mais famosos – e a seduzir toda uma geração de estudantes e jovens profissionais. Com alusões conceituais à ciência contemporânea se geraram ou interpretaram algumas das obras mais destacadas do panorama arquitetônico do final de século, como o Museu Guggenheim de Bilbao ou o Museu Judeu de Berlim.

Certamente, a complexidade presente na arquitetura do final do século não se apoia exclusivamente na ciência. Ela vem no rastro de uma década de deconstrutivismo, que por sua vez se inclui num amplo contexto cultural e filosófico de pós-modernidade, frontalmente questionador das perspectivas universalizantes e deterministas da modernidade. Além disso, o processo de incorporação da complexidade científica na arquitetura foi significativamente potencializado pela revolução digital levada a cabo no mesmo período. Considerando que a complexidade científica foi, na maior parte dos casos, refletida na forma arquitetônica, a informática não apenas facilitou, como em alguns casos foi o que viabilizou a concepção e representação dessas formas.

Na maior parte dessa *arquitetura da complexidade*, percebe-se uma evidente ênfase na representação formalista dos conceitos advindos da ciência, explorando-se o potencial comunicativo da arquitetura e, com frequência, a intenção de se gerar obras mediáticas singulares. Formas complexas, fluidas, fractais, com dobras, marcaram a tônica da arquitetura produzida na década de 90. Entretanto, os conceitos científicos aos quais remetem sugerem um potencial muito mais amplo de relações com o fazer arquitetônico que não apenas o trabalho com a aparência da arquitetura.

Uma aproximação mais aprofundada a essa ciência da complexidade nos permitirá esclarecer o que de natural tem efetivamente a complexidade contemporânea, e em que e como a ciência sustenta o conceito de complexidade; além disso, nos permitirá esclarecer a consistência e a magnitude das relações entre a ciência contemporânea e nossa visão de mundo, e paralelamente a maneira de pensar, fazer e viver a arquitetura. Ao fazê-lo, cremos comprovar nossa premissa sobre o potencial ainda latente dessas relações, apontando para direções ainda pouco exploradas ou valorizadas na arquitetura.

## **A ciência da complexidade**

*As leis fundamentais agora expressam possibilidades, não certezas. (PRIGOGINE, 2001, p. 11)*

O que se costuma designar ciência da complexidade ou teorias da complexidade é um conjunto de teorias e subteorias inter-relacionadas que vêm se consolidando a partir dos anos

3. Jencks comenta que nos últimos anos surgiram mais de 30 definições de complexidade, e que nenhuma logrou um status canônico. James Gleick adota o termo *caos* como título de seu livro sobre a criação de uma nova ciência; Ilya Prigogine y Charles Jencks empregam o termo *ciência da complexidade*; em outros trabalhos, costuma-se encontrar a denominação *teorias da complexidade*.

4. O essencial de Lorenz está publicado em artigos de 1963 e 1964, especialmente em "Deterministic Nonperiodic Flow", de 1963 (GLEICK, 1994, p. 322).

5. Noções similares ou mesmo idênticas são encontradas também nas cosmologias egípcia, hebraica, chinesa e celta (CHEVALIER; GHEERBRANT, 1999, p. 247-248).

6. Diegoli ilustra um exemplo de desproporcionalidade de resultados comparando dois exemplos de equação:  $y = x + 2/3$  como um exemplo de equação linear; e  $y = 4x(1-x)$  como de uma equação não-linear. Sobre equações e processos não-lineares, ver Diegoli, 2003, p. 20-22.

1960 e 70, e que ainda estão em pleno desenvolvimento. Entre estas estão a teoria do caos, as várias teorias vinculadas à auto-organização, e outras, como a dos fractais. Na verdade, não há ainda no meio científico e no de sua divulgação uma posição consensual sobre as definições e nomenclaturas para esse corpo teórico.<sup>3</sup> Podemos começar dizendo que ciência da complexidade é a ciência que trata dos sistemas dinâmicos denominados caóticos e de seus processos de transformação. Apresentaremos a seguir as principais teorias que a compõem, buscando ressaltar nelas os conceitos que as estruturam, a visão científica da natureza que delinham e os horizontes filosóficos que nos descortinam.

## A teoria do caos

A teoria do caos, originada no âmbito da matemática, trabalha matematicamente os aspectos referentes à previsibilidade dos sistemas caóticos, como é o caso da meteorologia; daí ser também chamada de "caos determinista". A teoria se conformou na década de 1960, com o trabalho sobre previsões meteorológicas do matemático do MIT Edward Lorenz,<sup>4</sup> mas já tinha como precursora o trabalho do francês Jules-Henri Poincaré (1854-1912), matemático, astrônomo teórico e filósofo da ciência (**Science et Méthode**, 1893). Para alguns cientistas, a teoria do caos representa a terceira grande revolução científica do século XX, depois da teoria da relatividade e da mecânica quântica (GLEICK, 1994, p. 14, 252).

O termo "caos" é por vezes questionado em razão de seu sentido comum, relacionado à confusão e desordem. Essa conotação remonta à mitologia grega na qual o *kháos* – literalmente, abismo – designa o vazio primordial anterior a todas as coisas, o estado de desordem anterior à formação do mundo.<sup>5</sup> Entretanto, o caos científico não tem a conotação de ausência de ordem, mas de outro tipo de ordem, de outro calibre, uma ordem extremamente complexa.

O comportamento de um sistema caótico tem como características fundamentais a não-linearidade, a indeterminação e a sensibilidade às condições iniciais. O conceito de não-linearidade provém da nomenclatura das equações matemáticas utilizadas nos cálculos dos processos caóticos, as equações não-lineares. Essas equações apresentam duas características decisivas nesses processos: a retroalimentação de variáveis e a presença das chamadas bifurcações.

A retroalimentação de variáveis se refere a que, nas equações não-lineares, uma variável se multiplica por si mesma várias vezes, alterando a equação de maneira progressiva. Isso tem duas consequências: a primeira é que os resultados não são necessariamente proporcionais como nas equações lineares, podendo ser, ao contrário, muito desproporcionais;<sup>6</sup> a segunda consequência é que, nas equações mais complexas, qualquer pequena diferença na variável inicial – seja por arredondamento, erro ou ignorância – é enormemente ampliada, tornando-se impossível qualquer precisão no resultado final. Essa é a chamada sensibilidade às condições iniciais, um atributo amplamente conhecido pelo chamado efeito borboleta, a metáfora meteorológica que sugere que

um insignificante bater de asas de uma borboleta pode vir a acarretar uma tempestade em outro continente.<sup>7</sup>

Já a presença de bifurcações se refere a que, em algumas equações não-lineares, o sistema apresenta, em várias etapas, mais de uma solução possível – uma bifurcação –, apresentando descontinuidades ou saltos, e com isso pode evoluir em diferentes direções, o que resulta, em longo prazo, em uma multiplicidade de soluções possíveis. Nessa dinâmica, entra em cena o conceito de acaso. O acaso caótico é o fator que incide no momento de eleição de um sistema frente às opções que se abrem nas bifurcações, e é o que gera a imprevisibilidade na evolução do sistema. Ao contrário do acaso comum, ele não é alheio à lógica, e sim parte intrínseca da lógica não-linear. Nos sistemas caóticos, portanto, a previsibilidade do processo evolutivo é reduzida a uma resposta dada em termos de probabilidade. Não há como prever com precisão a evolução do sistema; o máximo que se pode estabelecer é uma aproximação estatística, ou descrever sua evolução retroativamente, definindo *a posteriori* os momentos e caminhos das bifurcações.

Em resumo, a não-linearidade que rege os sistemas caóticos os caracteriza por desproporcionalidade entre causa e efeito, pela possível presença de descontinuidades e, o mais importante, por uma grande imprevisibilidade, especialmente a longo prazo. Nos processos não-lineares, ao contrário dos lineares, deterministas, as mudanças são qualitativas, e não apenas quantitativas.

Imprevisibilidade, acaso e indeterminação – conceitos-chave na ciência da complexidade – estabelecem uma forte contradição com a perspectiva absolutamente determinista que regia a ciência moderna. As novas leis implicam uma nova forma de inteligibilidade da natureza, expressa em termos probabilísticos, e guardam em si o germe da instabilidade e da incerteza. Entretanto, as leis indeterministas que regem o mundo não excluem sua porção determinista. Como a evolução do sistema pode ser estabelecida em termos estatísticos, persiste nela uma margem de conhecimento e um marco limitador. Acaso e determinação se interagem: o acaso decide nas bifurcações e o determinismo nos seus limites evolutivos. O indeterminismo que se impõe na ciência é, fundamentalmente, limite de previsibilidade.

Em outra perspectiva sobre a oposição entre acaso e determinismo, alguns cientistas colocam a possibilidade de se interpretar o acaso em termos de limitação de conhecimento, questionando se o acaso seria um direito da natureza ou um reflexo da ignorância do observador. Nesse sentido, o indeterminismo estaria vinculado primordialmente à observação do fenômeno. Um exemplo clássico, utilizado com frequência por vários cientistas, é o do barco à deriva (DIEGOLI, 2005, p. 112). O que consideraríamos à *deriva* o seria para nós, para o observador, mas poderia ser também considerado como uma rota determinada por fatores não alcançáveis pelo nosso conhecimento, como a corrente marítima e o vento; nesse sentido, seria uma rota *naturalmente* determinista, apenas impossível de ser prevista. Em outras

7. O efeito borboleta foi enunciado por Lorenz, com base nas considerações de Poincaré sobre a sensibilidade às condições iniciais (GLEICK, 1994, p. 16, 28, 323).

palavras, a imprevisibilidade não necessariamente exclui uma identidade determinista intrínseca ao processo. O acaso seria assim tudo aquilo que não se conhece por suas causas complexas (DIEGOLI, 2005, p. 42). Essa é uma postura polêmica, uma vez que deixa a porta aberta à volta do *diabo de Laplace*, ou seja, a possibilidade de existência de um conhecimento absoluto, ainda que inalcançável. Contra ela pesa o argumento de que o conhecimento não pode ser absoluto, uma vez que está em contínua atualização frente à igualmente contínua evolução do universo; essa é uma posição defendida pela maioria dos cientistas, como Prigogine, que afirma que nossa incerteza aumenta com o tempo (PRIGOGINE; STENGERS, 1994, p. 240).

Ainda que a teoria do caos tenha se desenvolvido sobretudo no âmbito da matemática e da física, a não-linearidade foi, paralelamente, ganhando atenção e importância em outros campos da ciência. Até 1987, já haviam sido estabelecidos mais de 50 centros interdisciplinares especializados em estudos não-lineares apenas na Europa; nos Estados Unidos, instituições similares brotaram no âmbito universitário de todo o país (PRIGOGINE, 2001, p. 78; GLEICK, 1994, p. 12).

O desenvolvimento dos estudos sobre sistemas caóticos em outros campos passou a comprovar que estes são muito mais comuns do que se pode imaginar, estando presentes em processos nas mais variadas áreas do conhecimento, caracterizando uma tendência de todo o mundo natural, incluindo o comportamento humano. Apesar de as reações não-lineares serem comparativamente raras no mundo inorgânico, a biologia molecular nos revelou que elas são praticamente a regra nos seres vivos, como ocorre, por exemplo, no mecanismo de transmissão genética (PRIGOGINE; STENGERS, 1994, p. 183-184). São também exemplos de sistemas caóticos com dinâmicas não-lineares: o comportamento meteorológico, a correnteza dos rios, o trânsito viário, a bolsa de valores, o ritmo cardíaco, o processo criativo, e por fim, a vida mesma. Atualmente, cientistas e filósofos coincidem no fato de que a natureza e a sociedade são essencialmente caóticas e, como tais, regidas pela não-linearidade. A ciência da complexidade nos revelou que no universo a não-linearidade é a regra, e a linearidade, a exceção.

## Auto-organização

A auto-organização é um conceito de máxima relevância no contexto da ciência da complexidade. Enquanto o caos determinista trata mais das ciências físicas e matemáticas, a auto-organização se destaca na físico-química, na biologia e nas ciências sociais. A auto-organização tende a ocorrer quando um sistema complexo é submetido a um incremento de energia, alimento ou informação, fomentado pela interação entre suas partes constituintes e/ou com seu entorno. O fenômeno ocorre quando o sistema, afastado da sua condição de equilíbrio, chega a um ponto crítico em que subitamente se transforma, rearticulando-se em um novo nível de organização, frequentemente mais complexo. Em outras palavras, o sistema é capaz de gerar uma nova ordem a partir

de uma situação caótica, uma ordem que pode corresponder a novas estruturas, formas ou comportamentos.

A auto-organização é a faceta evolutiva e criativa da dinâmica caótica; é ela que permite ao sistema adaptar-se ao entorno para sobreviver e evoluir, estando, por essa razão, especialmente relacionada ao vivente. Destaca-se, nesse processo, a impressionante coerência da auto-organização, onde o sistema se comporta como um todo, como se cada molécula estivesse “informada” do estado global do sistema (PRIGOGINE; STENGERS, 1994, p. 194).

Assim como o caos, a força do conceito de auto-organização gerou sua ampla assimilação em diversos campos do saber, desde a química até as ciências biológicas, sociais, econômicas, e até no âmbito das artes. Podem ser considerados exemplos de sistemas auto-organizados os sistemas biológicos, as combinações moleculares, a dinâmica das populações em ecologia, o comportamento dos mercados de ações, um campeonato ou uma partida de futebol, uma obra artística. O homem, em sua extrema complexidade, é um típico exemplo de ser auto-organizado, inserido, por sua vez, em uma sociedade igualmente auto-organizada, dinâmica e complexa.

A auto-organização, além de lidar com vários dos conceitos presentes na teoria do caos – não-linearidade, retroalimentação, bifurcações, flutuações, imprevisibilidade –, introduz outros conceitos de suma importância, como não-equilíbrio, criatividade, propriedades emergentes e irreversibilidade. Existem atualmente várias aproximações científicas a esse fenômeno, ou distintas teorias baseadas no conceito de auto-organização.<sup>8</sup> Faremos a seguir um breve repasso pelas mais significativas, buscando destacar seus conceitos fundamentais.

#### **A termodinâmica do não-equilíbrio**

A termodinâmica do não-equilíbrio, ou termodinâmica dos sistemas irreversíveis, é a teoria que abarca de maneira mais ampla os conceitos fundamentais concernentes à auto-organização. Ela foi desenvolvida pelo Prêmio Nobel de Química (1977) Ilya Prigogine (1917-2003), um grande divulgador da ciência contemporânea, que considera a termodinâmica a base da ciência dos sistemas complexos. Em seus livros, além de explicar de maneira didática a parte técnica de suas investigações, ele elabora uma série de importantes considerações filosóficas delas decorrentes no que diz respeito à nossa visão da ciência e da natureza.<sup>9</sup>

Prigogine, depois de distinguir os sistemas estáveis dos não-estáveis, classifica-os segundo seu grau de equilíbrio termodinâmico: *em equilíbrio*, *perto do equilíbrio* ou *longe do equilíbrio*. Esses últimos sistemas, aos quais se dedicará, apresentam todas as características dos sistemas não-lineares: são altamente instáveis, caóticos e imprevisíveis; apresentam a sensibilidade às condições iniciais, reações não-lineares, mudanças desproporcionais, bifurcações e flutuações. Nesse estado longe do equilíbrio, os sistemas, em contato com o meio, são capazes de desenvolver processos

8. Para uma visão mais voltada ao histórico da auto-organização, ver Diegoli, 2003, p. 31-32, 43-48. Para uma visão geral das teorias da auto-organização, ver também Lamounier, 2002, p. 110, 140-143.

9. Dentre seus vários livros, destacamos: *La nueva alianza: metamorfosis de la ciencia*; *El fin de las certidumbres*; *Tan sólo una ilusión*.

de auto-organização, imprevisíveis e irreversíveis, permitindo o surgimento de estruturas qualitativamente novas. Além disso, ele alerta para o fato de que, longe do equilíbrio, os fenômenos de auto-organização não podem ser reduzidos à universalidade das leis deterministas, uma vez que dependem de toda e qualquer particularidade incidente na sua relação com o meio (PRIGOGINE, 2001, p. 71).

Um importante fenômeno resultante nos processos de auto-organização diz respeito à possibilidade de surgimento das chamadas *propriedades emergentes*: novas e imprevisíveis propriedades da matéria, diferentes das anteriormente existentes, frutos desse tipo de processo. Elas são bem exemplificadas no caso das ligas metálicas, ou nos resultados obtidos em uma reunião de pessoas. Nesses casos, o todo é mais do que a soma das partes; dito de outro modo (e contrapondo-se a Mies e Venturi), “mais é diferente”<sup>10</sup>

A emergência de novas propriedades em um processo caótico se encontra na origem dos novos estados da matéria, revelando assim seu caráter criativo, razão pela qual Prigogine o denomina *caos ativo*. Esse estado é fundamental para a sobrevivência e evolução de um sistema, e em última análise, pela própria vida; sem a auto-organização, seria impossível a vida na Terra (PRIGOGINE; STENGERS, 1994, p. 181; PRIGOGINE, 2001, p. 10, 30, 71). O biólogo Brian Goodwin, em uma reconsideração da teoria evolucionista de Darwin, destaca o papel das propriedades emergentes na evolução das espécies, que, segundo ele, têm tanta ou mais importância que os aspectos genéticos e de seleção natural (GOODWIN, 1998, p. 9-16).

O desenvolvimento da termodinâmica do não-equilíbrio passa necessariamente por uma importante revisão do tema da entropia. A termodinâmica é o ramo da física dedicado ao estudo dos processos onde ocorre transformação de energia. A entropia, segundo as leis da termodinâmica, é a magnitude que expressa a inevitável perda de energia de um determinado sistema.<sup>11</sup> Prigogine ressalta nessa concepção o fato de que, na termodinâmica tradicional, voltada para o aproveitamento de calor em máquinas térmicas, os sistemas eram considerados isolados, e daí a inevitável perda de energia (PRIGOGINE; STENGERS, 1994, p. 140). Porém, esses sistemas são na verdade simplificações, distintas da realidade, onde os sistemas naturais são fundamentalmente abertos, trocando energia e matéria com o meio ambiente.<sup>12</sup> O potencial interpretativo do conceito de entropia não tardou a ser explorado para mais além da termodinâmica, sobretudo no âmbito da ecologia, tendo sido relacionado à decadência do universo, consumo energético, desenvolvimento sustentável, energias renováveis; esse conceito também vem sendo muito trabalhado nas últimas décadas ao se aplicar a questão da informação em termos similares ao de energia.<sup>13</sup>

Não é incomum associar a entropia às noções de degradação e desordem, o que Prigogine considera uma banalização que deve ser rechaçada. Os recentes desenvolvimentos da física e da química apontam que os processos de auto-organização dos sistemas longe do equilíbrio podem ser fon-

10. Essa frase, de 1972, é atribuída ao Prêmio Nobel de Física Philip Anderson (JENCKS, 1997, p. 61; LAMOUNIER, 2002, p. 115). A máxima de Mies é “menos é mais” (*less is more*) e a de Venturi, “menos é aborrecido” (*less is bored*).

11. A termodinâmica e o conceito de entropia foram desenvolvidos pelo físico alemão Rudolf Clausius (1822-1888) em 1865. As duas célebres leis da termodinâmica, formuladas por Clausius, são: “a energia do universo é constante”; “a entropia do universo tende a crescer ao máximo” (PRIGOGINE, 2001, p. 29)

12. Em razão das considerações termodinâmicas, Prigogine costuma denominar os processos de auto-organização dos sistemas afastados do equilíbrio de *estruturas dissipativas*, pelo fato de dissiparem energia no intercâmbio com o meio, em um processo de produção contínua de entropia.

13. Diegoli cita os trabalhos de Leo Szilard (1929), Leon Brillouin (1951), Rolf Landauer & Charles H. Bennett (1985) e Claude E. Shannon (1948) (DIEGOLI, 2003, p. 59).

te tanto de desordem quanto de ordem.<sup>14</sup> Nesse sentido, o conceito de entropia se aproxima mais de seu significado original em grego: *evolução*. O não-equilíbrio como origem de ordem tem sido analisado não apenas nos fenômenos macroscópicos da termodinâmica, como também na mais reduzida escala observável da natureza, como as partículas elementares e os movimentos moleculares (PRIGOGINE, 1997, p. 55). Nesse sentido, cabe ressaltar a relatividade do conceito de ordem e sua já citada relação com a concepção de caos: a ordem (ou a desordem) assim se considera em função do grau de conhecimento que se tem sobre ela, e dos parâmetros considerados nessa análise.

Na termodinâmica do não-equilíbrio, um aspecto especialmente enfatizado por Prigogine diz respeito ao atributo da *irreversibilidade*. Nos sistemas abertos longe do equilíbrio, os processos de auto-organização são inevitavelmente irreversíveis. E são, na realidade, os processos preponderantes na natureza. Os processos reversíveis são, em sua maioria, idealizações; eles são a exceção, e não a regra na natureza. Ao defender a irreversibilidade dos processos naturais – a *flecha do tempo* –, Prigogine vai contra as teorias físicas, desde a newtoniana à quântica, nas quais se admite um tempo reversível, “simétrico” (“O tempo é uma ilusão”, disse Einstein), posicionando-se a favor da conotação temporal cronológica, evolutiva, fenomenológica, compatível com a realidade macroscópica e a experiência humana. Com essa posição, ele ressuscita o chamado “paradoxo do tempo”, a contradição entre a física e nossa distinção entre passado e futuro.<sup>15</sup>

### **Gaia**

A chamada *hipótese Gaia* é uma teoria da biologia também fundamentada no conceito de auto-organização.<sup>16</sup> Ela foi formulada em 1972 pelo físico-químico inglês James Lovelock, com a colaboração da microbióloga americana Lynn Margulis, a partir de pesquisas, financiadas pela Nasa, sobre a vida em Marte.<sup>17</sup> Ela consiste em um modelo biológico da dinâmica planetária, no qual a Terra seria capaz de homeostase, ou seja, de se autorregular para se manter em equilíbrio; nesse modelo, os gases atmosféricos e os componentes marítimos atuariam com funções similares à da hemoglobina ou da insulina no sangue do corpo humano. Lovelock, após questionar as várias definições científicas sobre a vida, defende a hipótese de que a Terra é um organismo vivo, no sentido de ser um sistema dinâmico, auto-organizado e autorregulado (LOVELOCK, 2000, p. 29-55).

A hipótese Gaia avança na mesma direção de trabalhos anteriores de outros cientistas que consideraram a Terra como um superorganismo;<sup>18</sup> apesar de ser mais completa, com mais argumentos científicos, estes não são suficientes para comprová-la, razão pela qual é considerada, mesmo pelos próprios autores, apenas como uma hipótese (LOVELOCK, 2000, p. 17-25). Ainda assim, trata-se de uma teoria impactante, reforçando uma perspectiva que tem tido muita influência em movimentos ecologistas, e que segue sendo discutida por cientistas, ambientalistas e teólogos.

14. A essa ordem gerada pelo estado de não equilíbrio, Prigogine denomina ordem por flutuações, fenômeno que vincula às bifurcações (PRIGOGINE, 2001, p. 29; PRIGOGINE; STENGERS, 1994, p. 194; PRIGOGINE, 1997, p. 89).

15. O “paradoxo do tempo” já havia sido identificado na segunda metade do século XIX pelo físico Ludwig Boltzmann (1844-1906), que tentou, sem sucesso, estabelecer uma descrição evolucionista dos fenômenos físicos, seguindo o exemplo de Darwin na biologia (PRIGOGINE, 2001, p. 8, 24-26; PRIGOGINE; STENGERS, 1994, p. 163; PRIGOGINE, 1997, p. 20). Além de Boltzmann, o tema da incompatibilidade entre a espacialização abstrata do tempo e a experiência humana frente a um universo evolutivo foi também abordado por Poincaré, Bergson e Whitehead. Como eles, vários cientistas, como René Thom (2000, p. 40-42.), apostam na irreversibilidade temporal, ainda que essa posição contrarie os atuais argumentos da física microscópica e permaneça uma questão aberta no meio científico.

16. O nome Gaia, equivalente a *Gea*, vem da deusa grega que representava a Terra.

17. A teoria foi mais divulgada em publicações posteriores: *Gaia, a new look at life on Earth* (1979), *The ages of Gaia: a biography of our living Earth* (1988) e *Gaia: the practical science of planetary medicine* (1991).

18. Trabalhos do físico escocês James Hutton (1726-1797) no século XVIII, do geólogo austríaco Edward Suess (1831-1914) no XIX, e do físico soviético Vladimir Vernadsky (1863-1945) no início do séc. XX, de quem surgem conceitos como o de biosfera (LOVELOCK, 2000, p. 23-25).

### **Hiperciclos catalíticos**

A teoria dos hiperciclos catalíticos, formulada em 1979 pelo Prêmio Nobel de Química (1967) Manfred Eigen e por Peter Schuster, consiste basicamente em um princípio bioquímico de auto-organização natural (EIGEN; SCHUSTER, 1979).<sup>19</sup> Desenvolvendo pesquisas sobre a passagem do inorgânico ao vivo na pré-história, os autores sugerem que a origem da vida nesse contexto se deveu a que os ciclos de ácido nucléico se organizaram em hiperciclos, um tipo de rede de reações não-lineares com propriedades únicas, que permitiram a integração e evolução de um conjunto de entidades, em um processo análogo à duplicação e especialização de genes. A teoria está baseada na retroalimentação de reações com catalisadores, que em situações longe do equilíbrio geram os chamados *hiperciclos catalíticos*, capazes de evoluir a níveis mais elevados de organização e gerar uma diversidade crescente de componentes e estruturas.

### **Catástrofes e dobras**

A teoria das catástrofes é uma teoria voltada para o momento de transformação dos sistemas auto-organizados. Ela foi desenvolvida em dois momentos, pelo matemático francês René Thom e por Christopher Zeeman, que cunhou o termo com que ficou conhecida.<sup>20</sup>

Thom, valendo-se de trabalhos sobre a aplicação da topologia para representar os sistemas dinâmicos,<sup>21</sup> aprofunda-se no momento de transformação de um sistema submetido a uma mudança de fase, de estado, de condição ou de natureza, e busca justificar e descrever matematicamente as regras dessa dinâmica. No momento de transformação, o sistema “salta” de uma evolução contínua, descrita por um determinado sistema de equações diferenciais, a outra classe de evolução, descrita por outro sistema matemático (THOM, 2000, p. 66). Esse momento de transição, caracterizado por uma descontinuidade, salto ou ruptura, é o que se denomina *ponto catástrofico*. Zeeman desenvolveu a teoria de Thom ocupando-se, em particular, do estabelecimento de modelos matemático-geométricos para um grande número de situações, desde a mecânica e a física até a biologia e as ciências humanas.<sup>22</sup>

A teoria apresenta a possibilidade de analisar mudanças não-lineares em sistemas de distintas áreas, como a ruptura das ondas do mar, o fluxo dos polímeros ou mesmo as mudanças bruscas de comportamento ou opinião de pessoas ou grupos (DIEGOLI, 2003, p. 40). Mais que uma teoria científica no sentido corrente do termo, Thom a considera um tipo de linguagem, uma metodologia apoiada na matemática que permite organizar e representar dados experimentais. Ele afirma que sua metodologia permite enfrentar problemas filosóficos com métodos de caráter geométrico; sustenta, em especial, que o interesse essencial da teoria é gerar modelos dos processos linguísticos e semânticos (THOM, 2000, p. 65, 72, 93, 104-105).

A teoria das catástrofes teve uma rápida e grande repercussão, estando nela a origem de um conceito amplamente utilizado em outras áreas, o de *dobra*. Segundo Thom, os

19. Sobre essa teoria, ver também Diegoli, 2003, p. 48-52.

20. Os trabalhos são *Stabilité structurelle et morphogenèse* (1972), de Thom e *Catastrophe theory* (1977), de Zeeman. Um breve quadro da gênese e da história da teoria é exposto em Thom, 2000, p. 101-102.

21. SMALE. Differentiable dynamical systems. *Bulletin of the American Society*, p. 747-817. Thom se vale também das ideias de Poincaré sobre os sistemas caóticos (DIEGOLI, 2003, p. 45)..

22. Thom, apesar de reconhecer a importância do aporte de Zeeman, entre outras coisas por ampliar consideravelmente o campo conceitual da teoria, não compartilha com ele sua disposição para produzir modelos eficazes com estes modelos (THOM, 2000, p. 82-83)..

pontos catastróficos podem ocorrer de sete maneiras diferentes, sete *catástrofes elementares*, que são representadas por modelos gráficos e metáforas visuais topológicas (ver THOM, 1978, p. 78 e 99 *apud* LAMOUNIER, 2002, p. 123); a *dobra* é uma delas. Zeeman, para exemplificar esse conceito, elaborou um modelo gráfico – o diagrama do cachorro – no qual uma superfície dobrada ilustra as alternativas de reação de um cachorro frente a uma situação envolvendo as variáveis medo e cólera (THOM, 2000, p. 84-85). Posteriormente, Charles Jencks, que veio a se tornar um grande divulgador da ciência contemporânea e de suas relações com a arquitetura e a sociedade pós-modernas, fez outro diagrama similar a esse para discorrer sobre a dobra (JENCKS, 1997, p. 52). A ideia de dobra também foi trabalhada pelo físico David Bohm, que desenvolveu a noção de *universo dobrado e desdobrado* em sua obra **Wholeness and the implicate order** (1980).

Cumprindo-se as previsões de Thom sobre o potencial filosófico dessa teoria, esse conceito foi retomado em 1983 pelo arquiteto e filósofo Bernard Cache em **Terre meuble**, uma obra que trata da dinâmica de transformação da superfície sob um viés topológico e filosófico.<sup>23</sup> Logo em seguida, o conceito de dobra foi trabalhado por Deleuze em **Le pli: Leibniz et le baroque** (1988).<sup>24</sup> Deleuze, que nessa obra colhe uma série de referências a várias teorias da complexidade, trata do conceito de dobra como uma *morfologia do vivente* (DELEUZE, 1989, p. 27), ressaltando a inclusão do tempo como seu fator constitutivo, lidando com a ideia de *acontecimento* ou *evento* e conferindo à dobra a conotação de *matéria-tempo*. Depois disso, o conceito de dobra teve uma grande repercussão no meio arquitetônico, sobretudo como suporte conceitual ao barroquismo das formas complexas desenvolvidas na década de 1990.

### **Criticalidade auto-organizada**

A teoria da criticalidade auto-organizada, outra teoria recente que procura explicar o funcionamento da natureza como um sistema auto-organizado, é uma das mais citadas no meio científico da física nas últimas décadas. Formulada em 1987 pelo físico dinamarquês Per Bak (1948-2002), sua teoria trata de um tema afim ao das catástrofes, abordando em especial o momento crítico de transformação de um sistema que o leva à condição de criticalidade: o ponto de inflexão entre a desorganização e a auto-organização, entre o caos e a nova ordem.<sup>25</sup> Segundo Bak, os sistemas interativos evoluem de modo natural a um estado crítico; nesse estado, as perturbações são respondidas de maneira exponencial, *catastrófica*. A evolução do sistema só pode ser submetida a tratamento estatístico, ficando restrita ao campo das probabilidades. Bak formula sua teoria como uma teoria geral da auto-organização, incorporando conceitos provenientes da teoria do caos, da termodinâmica do não-equilíbrio, das catástrofes e dos fractais, e buscando aplicabilidade nos mais diversos campos, como a cosmologia, a geografia, a biologia, a neurociência e a economia, ilustrando sua teoria com exemplos na natureza e na sociedade. Como não poderia

23. O original francês de Cache permaneceu sem publicar, só o sendo na versão em inglês, de 1995: **Earth moves: the furnishing of territories**.

24. O texto de Deleuze, traduzido ao castelhano em 1989, ao português em 1991 e ao inglês em 1993, foi parcialmente publicado na revista **Architectural Design**, v. 63, n. 3-4, 1993.

25. Sua principal obra é **How nature works: the science of self-organized criticality** (1996). Sobre o tema, ver também Bak; Chen, 1991, p. 18-25.

deixar de ser, para Bak, a vida mesma é um fenômeno crítico auto-organizado.

### **Autopoiese**

A teoria da *autopoiese*, ou *biologia do conhecer*, foi elaborada pelo neurobiólogo chileno Humberto Maturana (1928- ) e seu compatriota Francisco Varela (1946-2002).<sup>26</sup> Para seus autores, a autopoiese – em grego, *autopoiesis* significa autorreprodução – é a capacidade que tem um sistema de se organizar de tal maneira a produzir a si mesmo; não há separação entre produtor e produto. Em outras palavras, os organismos autopoieticos são máquinas moleculares que se renovam continuamente, evoluindo por si sós. Seus autores, ao integrar a linguagem na definição dos organismos, fazem um importante trabalho de aproximação do conceito de vida em biologia a outras áreas, estabelecendo assim relações entre os organismos autopoieticos e o cérebro, e vinculando a autopoiese ao processo cognitivo do homem.

26. Os autores publicaram suas ideias pela primeira vez em 1973, com *De máquinas y seres vivos*: autopoiesis, acrescentando importantes comentários nos prólogos da versão publicada 20 anos depois. Sobre autopoiese, ver também Diegoli, 2003, p. 67-82.

## Outras teorias da complexidade

### **Fractais e autossemelhança**

A teoria dos fractais é uma teoria matemática que trabalha com dimensões irregulares ou fractais do espaço. Ela nasceu no início do século XX, baseada no cálculo infinitesimal de Leibniz (1646-1716), mas só se consolidou com o trabalho do matemático polonês Benoît Mandelbrot (1924- ), em **The fractal geometry in nature**, de 1977.<sup>27</sup> Nele, Mandelbrot, com a ajuda de computadores no processo de fórmulas matemáticas, reproduziu pela primeira vez a imagem dos fractais. A teoria dos fractais explica que as formas da natureza, na realidade, não possuem dimensões inteiras – 1, 2 ou 3 –, o que é uma simplificação operada pela geometria euclidiana. Segundo seu autor, a dimensão efetiva é fruto de aproximação, de um grau de resolução; no nível microscópico, as dimensões reais não têm valor inteiro, são fractais (MANDELBROT, 2003, p. 35).<sup>28</sup> A geometria fractal, de difícil apreensão para leigos, é especialmente capaz de representar as estruturas caóticas presentes no universo, descrevendo-as de maneira muito mais apropriada que a geometria euclidiana.<sup>29</sup>

As formas fractais constantes na natureza apresentam uma geometria de extraordinária complexidade, com uma característica muito especial: a da *autossemelhança*. Por esse princípio, as características formais presentes no todo se repetem em suas partes, em um processo de repetição de padrões que tende ao infinito; há como uma onipresença de uma estrutura formal que se repete, na mesma proporção, da macro à microescala. A teoria dos fractais mostra também que a autossemelhança caracteriza não apenas as formas naturais, como também os processos naturais. Desse modo, encontramos estruturas fractais em flocos de neve e movimento de nuvens, em raízes e galhos de árvores, relâmpagos e galáxias, sequências espaciais de formas protéicas, crescimento de plantas e de células. Também no corpo humano se pode notar o fenômeno da autossemelhança,

27. Essa obra é uma versão ampliada de seu ensaio anterior, "Les objects fractals: forme, hasard et dimension", de 1975. Um histórico da teoria se encontra em Mandelbrot, 2003, p. 564-589.

28. Sobre fractais, ver também Diegoli, 2003, p. 33.

29. Por exemplo, foi a teoria fractal que permitiu a representação dos *atratores estranhos* de Lorenz, razão pela qual são também chamados de *atratores fractais* (PRIGOGINE; STENGERS, 1994, p. 16).

como no sistema arterial ou na estrutura dos pulmões; todo o nosso metabolismo pode ser considerado como um sistema fractal.

A teoria dos fractais abriu um amplo campo de pesquisas científicas com aplicações práticas: na física, por exemplo, foi a teoria fractal que permitiu a representação dos chamados *atratores estranhos*; na tecnologia das comunicações, foi o uso da geometria fractal que permitiu a radical redução do tamanho das antenas dos aparelhos celulares. Essa teoria também, ao evidenciar a relação entre as partes e o todo, e entre forma e processo, potencializou a discussão sobre essas relações em diversas questões da ciência, entre elas a busca de explicações para a origem e evolução do universo.

### **Lógica difusa**

A teoria dos conjuntos difusos, ou lógica difusa (*fuzzy logic*), é uma teoria que formaliza matematicamente conceitos como o impreciso, o indeterminado, o difuso, lidando com operações de natureza estatística. Depois de vencer uma grande resistência inicial, ela foi desenvolvida em um âmbito mais extenso, aplicável a várias realidades, passando a ser considerada com especial interesse nas ciências sociais.<sup>30</sup>

A base dessa lógica consiste em que tudo é uma questão de grau, o que permite respostas intermediárias entre uma dualidade falso ou verdadeiro, zero ou um. Em inferências estatísticas, ela trabalha com valores não quantificáveis de maneira exata, como *um pouco, muito, mais ou menos, nem uma coisa nem outra, um pouco das duas coisas, ou um pouco de várias coisas*. Essa multivalência estabelece uma oposição frontal ao positivismo científico, baseado no pensamento bivalente de apenas duas possibilidades: certo ou errado, falso ou verdadeiro, 0 ou 1. Essa última é uma lógica fundamental na informática, mas que não reflete a realidade das relações sociais. Por essa razão, a lógica difusa é considerada um importante instrumento no tratamento da complexidade no cotidiano, de aproximação lógica à complexidade (MUNNÉ, 1995, p. 1-12 *apud* DIEGOLI, 2003, p. 36-38).

A lógica difusa culmina num histórico de oposição à lógica formal de Aristóteles – princípios de identidade, de não-contradição e do terceiro excluído –, histórico esse construído pela introdução de outros conceitos no campo da lógica: o de *incerto*, por Lukasiewicz; o de *provável*, por Reichenbach; de *infinitos*, por Godel, de *famílias de conceitos*, por Wittgenstein; de *vagueza*, por Bertrand Russel; e por fim o de *possibilidades*, por Zadeh (DIEGOLI, 2003, p. 36-380).

## **Um universo complexo**

Sintetizando o exposto sobre os sistemas caóticos, podemos dizer que se trata de sistemas dinâmicos, regidos por uma dinâmica não-linear, com saltos e descontinuidades

30. A *fuzzy logic* foi estruturada em 1965 pelo iraniano Lofty Zadeh e desenvolvida posteriormente por Bart Kosko. Sobre o tema, ver: Kosko, 1995 e Diegoli, 2003, p. 36-38, 174-177.

marcados pelo acaso, o que lhes confere muita instabilidade e uma grande imprevisibilidade no processo evolutivo; os trabalhos matemáticos sobre eles são sempre definidos em termos de probabilidade. As teorias da auto-organização nos elucidam ainda que alguns sistemas caóticos – em função de um incremento de energia, matéria ou informação, resultado da interação de seus componentes entre si ou com o exterior – afastam-se da condição de equilíbrio até um momento crítico em que o sistema salta, de maneira imprevisível e irreversível, para um novo nível de organização, em geral superior, o que lhe permite um novo patamar de sustentabilidade e desenvolvimento; nesse salto qualitativo, podem surgir novas propriedades antes inexistentes.

Na teoria do caos, consolidam-se importantes conceitos já presentes na teoria da relatividade e da física quântica, como indeterminismo, imprevisibilidade e probabilidade, e recobram força os de não-linearidade e acaso; além desses, ela aporta os conceitos de sensibilidade às condições iniciais e de atratores estranhos. Já as teorias da auto-organização acrescentam a estes os conceitos de não-equilíbrio, criticalidade, dobras, criatividade, propriedades emergentes, irreversibilidade, além de auto-organização. Outras teorias da complexidade aportam ainda as noções de fractais, autossimilaridade e outras. A maioria desses conceitos se inter-relaciona de maneira muito direta, configurando explicações de distintos aspectos ou etapas dos fenômenos relacionados à dinâmica dos sistemas complexos. A coincidência de conceitos em várias das teorias da complexidade é, por um lado, uma das razões das imprecisões epistemológicas nesse contexto, e por outro, o que confere coerência e unidade a esse corpo teórico. Em torno de todas essas teorias existe um marco conceitual comum, uma nova visão da natureza, pautada por dinamismo, complexidade, indeterminação e incerteza.

A ciência da complexidade vem consolidando uma mudança geral na visão científica da natureza e na estrutura do saber científico, radicalizando as transformações iniciadas com a teoria da relatividade e a mecânica quântica. Se a relatividade derrubou a concepção newtoniana sobre o espaço e o tempo absolutos, e a teoria quântica acabou com o sonho newtoniano de um processo controlável de mensuração, o caos agora aniquila a perspectiva da previsibilidade determinista.

Com o desenvolvimento das teorias da ciência da complexidade, a comunidade científica vem comprovando que a complexidade está presente em todo o universo. Do pequeno redemoinho às grandes tempestades, da biologia molecular às flutuações das bolsas de valores, no fluxo da água e do trânsito, em uma avalanche ou no funcionamento do cérebro, em tudo deparamos com sistemas dinâmicos caóticos e criativos, regidos por uma lógica não-linear. Todo o universo e seus componentes – da microescala atômica à macroescala das galáxias – definem-se como um conjunto de sistemas complexos e dinâmicos, em constante evolução para níveis cada vez mais altos de complexidade. Nas últimas décadas, essas teorias vêm estabelecendo progressivamente correlações com as mais variadas áreas do conhecimento, confi-

gurando-se como uma metatetoria multidisciplinar, passível de ser trabalhada de distintas maneiras, em vários campos do saber. Trata-se de um corpo teórico cada vez mais consistente e abrangente no panorama científico, consolidando-se como um verdadeiro marco na história da ciência.

As mudanças que a ciência da complexidade vem exercendo na atual visão científica da natureza são interpretadas por Prigogine como uma aproximação a uma natureza real, fenomênica, e não determinada segundo leis reducionistas e deterministas (PRIGOGINE, 2001, p. 64-68). Para esse cientista, a ciência atual estaria promovendo, nessa metamorfose, uma “nova aliança com a natureza”<sup>31</sup> E nessa aproximação estamos nós, olhando para o espelho da complexidade. O comportamento complexo é especialmente determinante do vivente. Qualquer sistema, seja físico ou social, que tenha muitos elementos, indivíduos e/ou subsistemas interativos, pode ser considerado um sistema complexo. Daí o fato de os sistemas complexos estarem sendo alvo de um crescente interesse no campo das ciências sociais. O homem, no funcionamento de seu organismo e em suas relações sociais, é regido por um comportamento caótico; a humanidade é complexa por natureza.

### **[Para:] A arquitetura frente à visão científica contemporânea da natureza**

A complexidade da natureza revelada pela ciência contemporânea implica uma mudança radical da cosmologia moderna, e o mais importante, abala todo o arcabouço cultural que nos estrutura. O homem contemporâneo, na era da complexidade, já não é, ou não deveria ser, o mesmo homem moderno, que comparte com sua obsoleta cosmologia uma postura fortemente reducionista e determinista.<sup>32</sup> A assunção da complexidade natural por parte do homem implica, necessariamente, um questionamento dos atributos comuns que estruturam não apenas sua visão científica da natureza, mas sua visão de mundo, sua cultura. Essa é uma dinâmica histórica, inevitável, como tão bem já nos demonstrou Koiré (KOYRÉ, 1994, p. 51; KUHN, 2003). Nela, ciência, filosofia, artes, arquitetura interagem, gerando, absorvendo e intermediando conceitos e ideias que configuram uma determinada visão de mundo. E de fato, os conceitos científicos que caracterizam a ciência contemporânea guardam uma grande identificação com alguns dos principais atributos da condição pós-moderna, sobretudo na medida em que a pós-modernidade incorpora a particularidade e a complexidade negadas ou desvalorizadas na modernidade, contrapondo-se à confiança e ao ideal de controle da perspectiva moderna. À complexidade científica corresponde uma visão de mundo igualmente complexa, com todas as suas consequências.

Acreditamos que a arquitetura de *formas e espaços complexos*, remetente de nossas considerações iniciais, exerce um papel importante na sensibilização do homem contemporâneo para com a assimilação de uma nova forma de ver o mundo. Tal como defendem de maneira enfática Charles Jencks, Peter Eisenman – este último especialmente apoiado em Foucault e Derrida –, Cecil Balmond e outros, essa arquitetura

31. Dessa ideia resulta o título de seu livro *A nova aliança: metamorfose da ciência*.

32. Esse argumento encontra defesa em diversos autores, como Edgar Morin (*El pensamiento complejo*), Mark Taylor (*The moment of complexity*), ou Richard Tarnas (*La pasión del pensamiento occidental*), e entre os que o relacionam com arquitetura, Peter Eisenman (*Visions unfolding*) e Charles Jencks (*The architecture of the jumping universe: the new paradigm in architecture*).

formalmente complexa, ao desestabilizar a referência espacial cartesiana, deslocaria o sujeito dessa coordenada, subvertendo seu impulso à ordem racional vigente (JENCKS, 1997, p. 210). Ainda assim, acreditamos que essa é apenas uma entre várias estratégias possíveis da arquitetura para lidar com a complexidade do mundo e a complexidade humana.

A complexidade natural lida fundamentalmente com a dinâmica de relações entre seus agentes e entre estes e o meio – meio físico, social, cultural. A arquitetura para um mundo complexo nos remete assim a preocupações de ordem fundamentalmente ecológica, considerando este termo em seu sentido mais amplo; remete-nos a lidar com a diversidade, com a transformação, com a adaptabilidade da arquitetura às contingências sociais e do tempo, com a constante busca por novas formas de ordem. Trata-se de uma arquitetura que deveria contemplar um funcionamento complexo, inexoravelmente evolutivo. O tempo joga nessa dinâmica um papel fundamental: é com ele, como observa Prigogine – citando Henry Bergson e Whitehead –, que se manifestam a liberdade humana e a imprevisibilidade das coisas; o tempo é a imagem da criatividade, da imprevisível realidade (PRIGOGINE, 2001, p. 64-65, 79).

E a assunção da complexidade natural nos compele a uma especial consideração com própria natureza humana, nos níveis biofísico e psicossocial. O comportamento humano tem tanto de imprevisibilidade e não-linearidade como o resto do universo. E o que é fundamental, a imprevisibilidade e a incerteza não são debilidades da natureza humana que se devam corrigir ou sufocar, mas atributos intrínsecos a todo ser vivente; além disso, estão intimamente relacionados à emergência e à criatividade, a toda e qualquer possibilidade de evolução.

Essas questões relativas à complexidade do comportamento humano têm um reflexo direto no estabelecimento da natureza humana como referente significativo na arquitetura. Mais especificamente, isso implica respeitar e valorizar tudo o que concerne a uma *humanidade complexa*, não idealizada, tanto por parte do que cria a arquitetura como por parte do que a vai habitar. Trata-se de considerar o fazer e o viver a arquitetura de uma maneira não determinista, não reducionista, não autoritária; em dar margem para o imprevisto e o acaso, tanto no ato de projetar como na previsão de uso dos espaços ou da transformação destes; de saber lidar com um equilíbrio entre a intenção e o acaso, entre racionalidade e *poiesis*; ou nas palavras de Argan, entre projeto e destino; trata-se de desconfiar de todo método ou projeto infalível, de considerar o passar do tempo para as pessoas e as coisas, com toda a incerteza que o futuro acarreta.<sup>33</sup> Trata-se de saber lidar com a instabilidade e a imprevisibilidade de todo processo dinâmico, tal como é a vida; e de fazer arquitetura a partir disso, e não apesar disso.

## Referências

ANDRADE, Luiz Antonio Botelho; SILVA, Edson Pereira da. O que é vida? **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 32, n. 191, p. 16-23, mar. 2003.

32. Essas considerações encontram afinidades também com a ideia de *arquitetura débil* que elaborou Solá-Morales a partir do conceito de pensamento fraco (*pensiero debole*) de Gianni Vattimo, e das contribuições correlatas de Tafuri, Foucault, Cacciari, Trías e Deleuze (SOLÁ-MORALES, 1996, p. 65-82).

ARGAN, Giulio Carlo. **Proyecto y destino**. Caracas: Ediciones de la Biblioteca de la Universidad Central de Venezuela, 1969.

BAK, Per; CHEN, Kan. Criticalidad Autoorganizada. **Investigación y Ciencia**, v.3, n. 174, p. 18-25, 1991.

BATTY, Michael; LONGLEY, Paul. **Fractal cities: a geometry of form and function**. London: Academy Press, 1994.

BOHM, David. **La totalidad y el orden implicado**. Barcelona: Kairós, 1988.

BRIGGS, John; PEAT, F. David. **Espejo y reflejo: del caos al orden: guía ilustrada de la ciencia del caos y la teoría de la totalidad**. Barcelona: Gedisa, 1990.

CACHE, Bernard. **Earth moves: the furnishing of territories**. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 1995.

CAPRA, Fritjof. **Las conexiones ocultas: implicaciones sociales, medioambientales, económicas y biológicas de una nueva visión de mundo**. Barcelona: Anagrama, 2003.

CHEVALIER, Jean ; GHEERBRANT, Alain. **Diccionario de los símbolos**. 6. ed. Barcelona: Herder, 1999.

DELEUZE, Gille. **El pliegue: Leibniz y el Barroco**. Barcelona: Paidós, 1989.

DIEGOLI, Samantha. **El comportamiento de los grupos pequeños de trabajo bajo la perspectiva de la complejidad**. 2003. Tese (Doutorado) - Universitat de Barcelona, Facultat de Psicologia, Departament de Psicologia Social, Barcelona: Disponível em: <<http://www.tdcat.cesca.es/TDX-0217104-104614/>>. Acesso em: 16 dez. 2004.

EIGEN, M.; SCHUSTER, P. **The hypercycle: a principle of natural self-organization**. Berlin: Springer, 1979.

EISENMAN, Peter. Visions unfolding: architecture in the age of electronic media. **Domus**, Milano, n. 734, p. 17-24, jan. 1992.

GLEICK, James. **Caos: la creación de una ciencia**. 2. ed. Barcelona: Seix Barral, 1994.

GOODWIN, Brian. **Las manchas del leopardo: la evolución de la complejidad**. Barcelona: Tusquets, 1998.

GELL-Mann, Murray. **El Quark y el Jaguar: aventuras en lo simple y en lo complejo**. 3. ed. Barcelona: Tusquets, 1993.

GRILLO, Antonio Carlos. **La arquitectura y la naturaleza compleja: arquitectura, ciencia y mimesis a finales de siglo XX**. 2005. Tese (Doutorado) - Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona. Disponível em: <[http://www.tdcat.cesca.es/TE-SIS\\_UPC/AVAILABLE/TDX-0315107-115926//01ACdg01de01.pdf](http://www.tdcat.cesca.es/TE-SIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0315107-115926//01ACdg01de01.pdf)>. Acesso em: 10 set. 2007.

HARVEY, David. **Condição pós-moderna: uma pesquisa sobre as origens da mudança cultural**. 6. ed. São Paulo: Edições Loyola, 1996.

JACOBS, Jane. **Muerte y vida de las grandes ciudades**. 2. ed. Madrid: Península, 1973.

JENCKS, Charles. **The architecture of the jumping universe: a polemic: how complexity science is changing architecture and culture**. Chichester: Academy Editions, 1997.

JENCKS, Charles. **The new paradigm in architecture**: the language of post-modernism. New Heaven; London: Yale University Press, 2002.

KOSKO, Bart. **Pensamiento borroso**: la nueva ciencia de la lógica borrosa. Barcelona: Crítica, 1995.

KOYRÉ, Alexandre. **Pensar la ciencia**. Barcelona: Paidós, 1994.

KUHN, Thomas. **A estrutura das revoluções científicas**. 7. ed. São Paulo: Perspectiva, 2003.

LAMOUNIER, Rosamônica Fonseca. **Arquitetura e ciência**: visões paralelas do mundo contemporâneo. 2002. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura, Belo Horizonte.

LOVELOCK, James. **Las edades de Gaia**: una biografía de nuestro planeta vivo. 3. ed. Barcelona: Tusquets, 2000.

MANDELBROT, Benoît. **La geometría fractal de la naturaleza**. 2. ed. Barcelona: Tusquets, 2003.

MUNNÉ, Frederic. Las teorías de la complejidad y sus implicaciones en la ciencia del comportamiento. **Revista Interamericana de Psicología**, v.29, n.1, p. 1-12, 1995.

ORTEGA Y GASSET, José. **Meditación de la técnica**: y otros ensayos. 7. ed. Madrid: Revista de Occidente, 1977.

PRIGOGINE, Ilya. **¿Tan sólo una ilusión?** Una exploración del caos al orden. 4. ed. Barcelona: Tusquets Editores, 1997.

PRIGOGINE, Ilya; STENGERS, Isabelle. **La nueva alianza**: metamorfosis de la ciencia. Madrid: Alianza Universidad, 1994.

PRIGOGINE, Ilya. **El fin de las certidumbres**. 2. ed. Madrid: Taurus, 2001.

SOLÁ-MORALES, Ignasi. **Diferencias**: topografías de la arquitectura contemporánea. 2. ed. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 1996.

TAYLOR, Mark C. **The moment of complexity**: emerging network culture. Chicago: The University of Chicago Press, 2001.

THOM, René. **Parábolas y catástrofes**: entrevista sobre matemática ciencia y filosofía. 3. ed. Barcelona: Tusquets, 2000.

THOM, René. **Morphogenèse et imaginaire**. Paris: Lettres Modernes, 1978.

VENTURI, Robert. **Complejidad y contradicción en la Arquitectura**. 9. ed. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 1999.

WAGENSBERG, Jorge. **Ideas sobre la complejidad del mundo**. 4. ed. Barcelona: Tusquets Editores, 1998.

WAGENSBERG, Jorge (Ed.). **Proceso al azar**: una convocatoria de Jorge Wagensberg. Barcelona: Tusquets Editores, 1986.

#### **Endereço para correspondência**

Antonio Carlos Dutra Grillo  
Av. Dom José Gaspar 500 - Prédio 47  
30535-610 Belo Horizonte-MG  
e-mail: acdgrillo@hotmail.com