

TEORIA DO CAOS E GESTÃO DE EMPRESAS

(Capítulo 3 do livro Mudança Organizacional)

Thomaz Wood Jr.¹

Apresentação

Na gestão, quando deparamos com temas da moda – e não têm sido poucos os casos –, somos em geral tomados por sentimentos ambíguos: de um lado, os nossos preconceitos, gerados e sedimentados ao longo de anos de exposição à exploração e vulgarização de temas científicos; do outro, uma certa atração pelo frescor das novidades e a possibilidade de conseguir com elas novos *insights* sobre nosso objeto de estudo. Este é o caso da Teoria do Caos.

Em grande escala, a partir dos anos 60, a indústria editorial foi acometida, e cometeu, dois *booms* quase simultâneos. Ao mesmo tempo em que a literatura de divulgação das conquistas científicas tomava novo impulso, certo filão voltado para a questão organizacional surgiu com grande força. O primeiro fenômeno refletia o avanço das ciências básicas e aplicadas e a afetação produzida por estes avanços sobre o dia-a-dia das pessoas. Já o segundo fenômeno foi fruto da transformação da organização como objeto de estudo. Enquanto, nos anos 30, organizar tinha o sentido de segmentar, planejar, ordenar e controlar, nos anos 60 e 70 a organização já era vista como uma força motriz da modernidade e transformava-se, para desespero dos deterministas, num "baú complexo" e pouco compreendido. Os gestores, por sua vez, passaram a sentirem-se como os habitantes de Tebas diante da Esfinge. Feliz, ou infelizmente, não faltaram candidatos a Édipo escrevendo livros.

A Teoria do Caos passa por estes dois fenômenos, e é significativa de um terceiro. Surge, inicialmente, em estudos e modelações matemáticas ligadas à meteorologia, à biologia, à física e à química. Ganha espaço e popularidade por meio da literatura de divulgação científica, principalmente por sua característica de transdisciplinaridade, sua capacidade de explicar eventos tão distintos quanto a variação da temperatura ambiente, o crescimento de populações de insetos ou o batimento cardíaco. Um de seus desenvolvimentos paralelos, de belo efeito plástico e forte apelo popular, as superfícies fractais, foi, há algum tempo, inclusive objeto de uma exposição fotográfica no Museu de Arte de São Paulo, o MASP.

De outro lado, no mundo organizacional, caos passou a ser uma palavra muito empregada e gerou pelo menos um grande best-seller – *Prosperando no Caos*, de Tom Peters. Transformações e instabilidades sem precedentes sacudiam as organizações e seus administradores. Surge, então, o terceiro fenômeno, que é a crescente utilização de imagens, metáforas e idéias ligadas às ciências naturais para melhor compreender os fenômenos organizacionais.

Bem, já é hora de definir minimamente o que é a Teoria do Caos. Em contraposição à idéia de ausência de ordem que intuímos, a Teoria do Caos está justamente ligada à descoberta de padrões e leis razoavelmente simples que governam uma série de fenômenos complexos. Não se confunda, porém, esta existência de padrões com a possibilidade de previsão. Uma característica dos sistemas caóticos é que qualquer mínima alteração numa das suas condições iniciais pode provocar profundas mudanças de trajetória ou comportamento. Daí a imprevisibilidade.

Pelas suas características, a Teoria do Caos complementa e é complementada por outras idéias, como o paradigma da complexidade e a teoria sistemática. As três compõem uma nova forma de olhar os sistemas complexos. Longe de serem campos estanques, têm fronteiras mal definidas e grandes interfaces, que compõem um novo arcabouço de idéias para o estudo de sistemas e organizações.

¹ Professor da Fundação Getúlio Vargas de São Paulo (EAESP/FGV), consultor de empresas na área de transformação organizacional e autor de *Os 7 Pecados do Capital*. twood@fgv.br

Surgida no início dos anos 60, a Teoria do Caos conheceu altos e baixos. "Felizmente as idéias não obedecem a um toque de recolher... a natureza do – fenômeno emergente – força um retorno para recuperar – fragmentos de idéias aparentemente esquecidas ou cujos significados não fossem perceptíveis à época de sua concepção" (Spink, 1991). O próprio corpo central da teoria, no conjunto de suas aplicações nas ciências naturais, só se popularizou com o desenvolvimento dos computadores. Paralelamente, a globalização da economia, as instabilidades nos mercados financeiros e o "parto forçado" de novas maneiras de conceber a ação da gestão, vieram a interagir com a teoria e produzir novos frutos.

Longe de ser suficiente para a compreensão da teoria, a definição anterior é apenas um ponto de partida para o entendimento desse novo campo da ciência. O princípio norteador dessa pesquisa é tentar montar um retrato a partir de diferentes possibilidades de aplicação em áreas ligadas à gestão. O trabalho está estruturado da seguinte forma: na introdução, será feita uma breve discussão sobre a evolução do conhecimento científico a partir das idéias de Thomas Kuhn (1990). Em seguida, será traçado um histórico do surgimento da Teoria do Caos e discutida a questão da modelação. As seções seguintes tratarão das diversas possibilidades de aplicação dos conceitos e idéias da teoria a temas relacionados com as finanças, a economia e as teorias de gestão. Finalmente, como conclusão, será feita uma síntese.

Cabe também mencionar algumas limitações e dificuldades desta pesquisa. A primeira é a novidade do tema na sua associação com assuntos relacionados com a gestão. Isso não se reflete propriamente na quantidade de referências disponíveis, em número até razoável, mas no tipo de tratamento. A grande maioria dessas referências tem caráter exploratório, terminando freqüentemente com questões em aberto e indicações de novos rumos de trabalho.

Não existem, em geral, conclusões fechadas. Por outro lado, são quase regra as visões críticas dos modos interpretativos e cognitivos atuais. Todas essas características, antes de serem vistas como virtudes ou defeitos, devem ser consideradas próprias de um campo ainda em gestação. A novidade do tema também dificulta o estabelecimento de visões contrapostas, que sempre podem enriquecer o leitor com possibilidades alternativas de interpretação. A regra, nesta pesquisa, foi a simples contraposição da "visão caótica" à "visão determinista" habitual.

Introdução

Na apresentação, foi citado este "princípio de Lavoisier" das idéias, que é o constante aflorar e submergir de conceitos em função de momentos e conjunturas. Além da Teoria do Caos, outro excelente exemplo dessa desobediência ao toque de recolher são as idéias do físico Thomas Kuhn, expressas no livro *A Estrutura das Revoluções Científicas* (1990). Editado pela primeira vez há mais de 20 anos, ele foi (re)descoberto recentemente por consultores e administradores preocupados com as mudanças nas organizações. A razão, porém, da sua inclusão nesta introdução, não é esse paralelismo mas o seu conteúdo, voltado para a compreensão dos movimentos impulsionadores e restritivos da adoção de novos conceitos e idéias.

Kuhn utiliza o conceito de paradigma para questionar o enfoque tradicional de progresso científico. Dentro desse enfoque, a ciência está em estado de evolução contínua, gradual e linear. Cada cientista supõe, implícita ou explicitamente, que o paradigma no qual desenvolve seu trabalho é válido e correto. Este lhe fornece um marco de referência e a justificação para o que crê, diz e faz. A própria definição do que seja progresso científico faz parte do paradigma. Por isso, as discrepâncias entre paradigmas não podem ser resolvidas racionalmente, requerendo uma perspectiva divina.

Kuhn vê a pesquisa formal como uma tentativa de impor à natureza esquemas lógicos de interpretação. Parte-se do pressuposto de que uma comunidade científica sabe como é o mundo. Para ele, pelo contrário, o verdadeiro progresso científico é descontínuo, e só se produz quando um paradigma é substituído por outro sem ligação com o primeiro. É a revolução. O processo de substituição de paradigmas tem início quando já não se conseguem explicações satisfatórias para os

fenômenos. Esse sentimento de disfunção é essencial para a crise. Então surgem novas teorias, que vão influenciar os trabalhos e competências já estabelecidos.

Vale a pena lembrar que essas novas teorias são um conjunto de obras inacabadas mescladas com boas idéias e, não raro, uma boa dose de ingenuidade e até oportunismo. Essas novas idéias vão proporcionar aos cientistas uma nova visão de mundo. O processo de substituição dá-se na mente de um ou poucos indivíduos, que geralmente estão pouco comprometidos com as práticas anteriores, e concentrados em problemas que provocam crises. A continuidade desse processo e a consolidação do novo paradigma requerem certa dose de fé, pois, além da resistência natural apresentada pela visão vigente, o novo paradigma é, no nascedouro, ainda pouco consistente e incapaz de dar resposta a muitas questões.

As idéias de Kuhn constituem um pano de fundo ideal para entender o choque e o salto proporcionados pela Teoria do Caos sobre áreas tão díspares quanto a meteorologia e o mercado de ações, a neurologia e as taxas de câmbio.

Borboletas e supercomputadores – uma breve história do caos

Borman (1991) define sistemas caóticos como aqueles que apresentam irregularidades e extrema sensibilidade às condições iniciais. Parecem completamente aleatórios, mas são essencialmente deterministas. Isto é, podem ser descritos por equações matemáticas normalmente simples. Entretanto, se não se conhecem as condições iniciais, é inviável prever o que vai acontecer. E conhecer as condições iniciais é geralmente impossível.

Alguns autores classificam o nome Teoria do Caos de infeliz, pois caos significa justamente a ausência de ordem. Na verdade, poderíamos melhor qualificá-lo de provocativo, uma resposta a uma tendência determinista da ciência. Ao mesmo tempo em que a Teoria do Caos desvenda os mistérios do comportamento de certos sistemas gerados por equações simples e, por isso, intrinsecamente deterministas, destrói o mito da previsibilidade e controlabilidade, que nutre os pressupostos e norteia os esforços da ciência tradicional.

O mesmo Borman aponta a primeira referência histórica do tema ao matemático francês Jules-Henri Poincaré (1854-1942), que notou a existência de comportamentos mais complexos que os simples movimentos periódicos. Isso em pleno reinado da dinâmica newtoniana.

Um referencial importante na literatura de divulgação da Teoria do Caos é, sem dúvida, o trabalho de James Gleick. Jornalista do New York Times, Gleick publicou em 1987 um livro que viria a tomar-se *best-seller* em todo o mundo. O autor conta a história do surgimento da Teoria do Caos simultaneamente nos vários campos científicos, ressaltando essa sua característica de interdisciplinaridade espontânea. Ele descreve os primeiros passos da teoria como um misto de poesia e encantamento. Explora de forma simpática o estereótipo do cientista louco procurando respostas para questões impossíveis como a dinâmica das quedas de água e da formação de nuvens.

O primeiro e mais famoso marco da teoria está nos estudos do meteorologista Edward Lorenz, do MIT. Trabalhando, no início da década de 60, sobre simulações, em computadores, de modelos de previsão de tempo, Lorenz, ao repetir uma série de cálculos, inadvertidamente modificou o número de casas decimais no programa. Após alguns instantes, os gráficos gerados tomaram comportamentos completamente diferentes dos anteriores.

Comprovou-se, assim, a enorme sensibilidade do sistema às condições iniciais. Essa descoberta colocou em xeque o princípio de causa e efeito, pelo qual esses dois eventos seriam dependentes em magnitude. Como o sistema montado por Lorenz era não linear, pequenas causas poderiam gerar grandes efeitos. Surgiu daí a popular frase de que uma borboleta, batendo as asas no Brasil poderia provocar um tornado no Texas, na realidade título de um trabalho de Lorenz.

Robert May, um biólogo da Princeton University, descobriu, nos anos 70, um modelo matemático simples para a dinâmica da população de insetos, usando apenas duas variáveis: taxa de reprodução e suprimento de alimento. O modelo, comprovado na prática, revelava comportamentos complexos

e ciclos regulares. Mitchell Feigenbaum, um físico do Laboratório Nacional de Los Alamos, conseguiu demonstrar que a fórmula de May era genérica, e poderia ser aplicada a muitos fenômenos na natureza.

Outro nome importante no desenvolvimento da Teoria do Caos é o do pesquisador Benoit Mandelbrot, da IBM. O seu trabalho estava orientado para a geometria fractal - vide glossário -, que lida com objetos que têm como característica comum a propriedade de, não importa quão ampliadas sejam suas imagens, os novos detalhes aparecerem na mesma escala da figura anterior. O que chama a atenção nessas figuras, geradas em computador a partir de fórmulas matemáticas, é a sua semelhança com imagens encontradas na natureza, como folhas de árvore, cristais, vales e montanhas.

Todas essas descobertas colocaram em xeque a ciência baseada em relações simples de causalidade, que ignorava as regiões turbulentas do mundo real, dando origem a um novo campo científico. A Teoria do Caos, desde então, vem rompendo fronteiras entre disciplinas, reunindo pensadores de campos separados, e revertendo a tendência de dissecação e compartimentação da ciência.

Modelar ou não modelar, eis a questão

Uma idéia central na Teoria do Caos é a da modelagem, a capacidade de um corpo de idéias servir de ferramenta para a simulação e o estudo de sistemas. Simon (1990) realizou uma interessante síntese sobre essa questão a partir das possibilidades abertas pela Teoria do Caos. O autor parte do princípio de que o mundo é mais complexo que qualquer modelo, e de que a natureza é capaz de gerar comportamentos e dinâmicas mais ricas que a capacidade de apreensão de conjuntos de equações. Isso contudo, por si só, não inviabiliza o uso de modelos.

Quando os utilizamos, precisamos separar o essencial do dispensável para, assim, capturar um quadro simplificado que permita inferências razoavelmente seguras. A idéia é balancear a possibilidade de simplificação com a utilidade relativa de um sistema simplificado. Mesmo um sistema muito complexo pode ser modelado de forma a que algumas conclusões importantes possam ser tiradas. Simon crê que, se a linearidade domina a cena da modelagem, a razão não é que a realidade dos sistemas possa ser representada por equações lineares, mas possa ser limitada a capacidade de tratamento de sistemas não lineares. Na realidade, poucos casos de sistemas não lineares podem ser tratados por computador, mas, com condições de contorno apropriadas, elas podem cobrir grande parte das situações.

Quando modelamos, se estamos interessados no comportamento dinâmico, existem três hipóteses: queremos ou prever o futuro a partir de condições iniciais, ou saber se existem posições estáveis de equilíbrio, ou verificar os resultados de intervenções voluntárias.

Ao modelarmos um sistema, as seguintes questões precisam ser analisadas:

1. analisar em que grau precisamos de detalhes temporais;
2. verificar em que nível o conhecimento dos passos temporais pode ser substituído por informações do estado estacionário;
3. averiguar a possibilidade de uso de propriedades hierárquicas dos sistemas para simplificar o modelo;
4. analisar a adequação da substituição de modelos numéricos por modelos simbólicos e vice-versa.

Duas questões essenciais na modelagem são a predição e a prescrição. Elas refletem o nosso grande fascínio pela possibilidade de prever o futuro, ou de nele interferir conscientemente. A Teoria do Caos não apresenta soluções para o problema da previsão, mas mostra os limites para a sua tratabilidade. Por outro lado, embora não auxilie o conhecimento dos passos de um sistema em detalhe, ajuda a separar os períodos de equilíbrio estável e instável. Já quando os modelos servem a uma estratégia de intervenção, a questão desloca-se da previsão para a prescrição. Também nesse

caso, nem sempre interessa a evolução contínua do sistema, mas sim ordens de grandeza relacionadas com o seu macrocomportamento. Isso pode simplificar bastante os cálculos.

A Teoria do Caos tem demonstrado que sistemas de grande interesse e tão díspares como a economia ou o cérebro humano são caóticos em essência. Esclarecendo os mecanismos que subjazem a esses comportamentos, ela ilumina a compreensão de suas dinâmicas. A teoria traz novas perspectivas para a modelagem de sistemas não lineares, que constituem regra no mundo real. Embora por ora essa luz seja apenas uma nova maneira de olhar a realidade, esse salto não pode ser menosprezado. O trabalho que se coloca é o da redefinição das perguntas, para que os esforços sejam orientados para a procura das respostas certas. Resta ainda um longo caminho a percorrer.

Por um punhado de dólares – as aplicações financeiras

O número de artigos sobre aplicações financeiras baseadas na Teoria do Caos supera em muito o de todos os outros temas. Os profissionais da área, não por acaso, estão sempre à procura da pedra de toque da fortuna e do sucesso. Também não por acaso, é nessa área que se encontram as utilizações mais "pretensiosas" ou "otimistas" da teoria. Um bom número de consultores e analistas deixou-se encantar pelas idéias da Teoria do Caos. Eles criaram e passaram a vender pacotes de análise de ações e outros títulos capazes de nada mais nada menos que prever o futuro. Mas julgar o campo por essas distorções não seria justo.

O ponto central nos trabalhos relacionando Teoria do Caos e finanças é o seguinte: o evangelho segundo o qual o mercado de ações segue padrões aleatórios deve ser questionado. Vale a pena fazer um breve retrospecto. Na década de 60, acadêmicos ligados à área de Finanças, após árduas discussões, chegaram à conclusão de que as flutuações no mercado eram comandadas por processos puramente aleatórios. A partir daí, foi gerado um grande número de modelos, baseados na chamada "hipótese de mercado eficiente", que se firma no acesso nivelado de informações aos agentes financeiros. O *crash* da bolsa de 1987 e outras instabilidades, lançaram dúvidas sobre esse paradigma. Estudos recentes têm levado em conta as relações não lineares entre as variáveis financeiras e os complexos mecanismos de retroalimentação do sistema. Segundo esses estudos, as séries temporais de valores de ações têm componentes tanto deterministas, geradas por leis caóticas vindas da infra-estrutura do mercado, quanto componentes aleatórios, ligadas à constante chegada de informações aos agentes.

Hsieh (1991) realizou um estudo sobre a presença de caos e elementos de dinâmica não linear nos mercados financeiros. O autor utilizou um rol de ferramentas estatísticas, concluindo que a hipótese de comportamento aleatório deve ser rejeitada. Por outro lado, não se comprovou a existência de leis de caos, embora fossem identificados elementos de não-linearidade.

Peters (1991) estudou a existência de um atrator caótico – vide glossário – para o índice S&P 500, utilizado nos Estados Unidos. O autor descobriu que o índice tem ciclos não periódicos governados por esses atratores. As conclusões são as seguintes: primeiro, o mercado de ações tem ciclos e tendências; segundo, uma pequena mudança num indicador pode levar a grandes impactos no mercado no futuro; e, terceiro, quanto mais se avança no tempo, menos confiáveis se tornam as previsões.

Analisando o mercado de ações e, em particular, também o índice S&P 500, Laing (1991) conclui que o valor da Teoria do Caos não é a capacidade de previsão, mas a possibilidade de melhor entender a complexidade do sistema. Savit (1991), contrapondo-se parcialmente a essa posição, acredita que muitas seqüências de dados financeiros podem ser mais bem compreendidas com técnicas de análise não linear, inclusive Teoria do Caos, e que essas técnicas podem melhorar as previsões de curto prazo e as estratégias de análise de investimento.

Larrain (1991) analisa a evolução dos preços de ações, ora contínua, ora explosiva, e advoga que a questão maior para os teóricos e matemáticos do caos é determinar se há um modelo particular, pelo qual os sistemas se dirigem à desordem e à turbulência. Ele considera que a dinâmica não

linear em geral, e a Teoria do Caos, especificamente, são importantes para a análise financeira. As razões são as seguintes: primeiro, mostram que os preços futuros dependem tanto dos preços passados como de fatores econômicos; segundo, colocam em xeque as premissas de comportamento aleatório do mercado; terceiro, a não-linearidade praticamente descarta as previsões de longo prazo, embora admita as de curto prazo; e quarto, demonstram que, paradoxalmente, o mercado segue para a desordem de forma ordenada.

O autor estudou o comportamento de títulos do tesouro norte-americano, concluindo que a idéia de caos não é a única resposta para a volatilidade dos mercados financeiros, mas que também não pode ser descartada. O trabalho sugere que, na prática, coexistem estruturas não lineares - capazes de bifurcações periódicas e comportamento violento, com estruturas macroeconômicas bem comportadas.

Blank (1991) realizou estudo semelhante sobre o mercado de *commodities*. Para ele, os modelos lineares não funcionam bem por não capturarem a realidade das interações e a natureza dos processos envolvidos. A dinâmica não linear e a Teoria do Caos agregam valor à compreensão desses processos. Com base no pressuposto de que ao menos parte do processo é não linear, os analistas poderiam avaliar se existe determinismo ou não. Na prática, porém, é difícil separar processos deterministas e estocásticos devido à própria natureza dos dados econômicos.

O campo financeiro, com seus pesquisadores sérios, mas também com seus oportunistas e céticos, tem-se mostrado um receptáculo amigável da Teoria do Caos. Muitos desenvolvimentos matemáticos da teoria podem ser creditados aos estudos voltados para o comportamento de ações e outros títulos financeiros. Mas, embora esse desenvolvimento tenha sido considerável, as respostas desejadas pelos analistas financeiros não foram ainda geradas. A Teoria do Caos, quando aplicada a esse campo, revela-se muito mais uma forma de colocar em xeque as teorias existentes e de lançar um novo olhar sobre a realidade, que uma ferramenta de previsão. Os esforços nessa direção, entretanto, continuam.

Caos, keynesianismo e monetarismo

Ao contrário do campo financeiro, em que as tentativas de aplicação da matemática do caos são a regra, as referências relacionadas com as ciências econômicas são mais voltadas para os aspectos conceituais e para a questão da nova forma de olhar para os sistemas complexos. Mirowski (1990) e Routh (1989) fazem uma análise bastante crítica dos rumos atuais das ciências econômicas, utilizando algumas idéias básicas da Teoria do Caos como alternativa válida para uma reformulação conceitual. Curiosamente, Mener (1987) segue a mesma via, ainda que não mencione a Teoria do Caos. A conclusão é de que o aparente movimento de reconceitualização e reformulação do papel da economia, e o campo representado pela Teoria do Caos, são fenômenos paralelos, que se alimentam da mesma fonte e potencialmente um do outro.

Começamos por Meller. Para o autor, num período recente, muitos países têm enfrentado uma variada gama de problemas econômicos. Soluções diferentes, marcadas ora pelo monetarismo, ora pelo keynesianismo, têm sido tentadas sem sucesso. O surgimento de modas e bruxos acabou por configurar uma situação de crise e, por conseqüência, um convite à reflexão. Meller crê que a economia não é um sistema unificado e coerente de idéias, mas uma coleção de teorias e modelos. Ocorre que as correntes hoje dominantes são fruto do conhecimento científico do século XIX, da lógica cartesiana, do nacionalismo, da física newtoniana e do operacionalismo. Os modelos econômicos existentes são abstratos e, em geral, marcados por uma matemática sofisticada.

É difícil, porém, representar algebricamente o comportamento dos homens e das suas instituições. Meller pensa que o verdadeiro economista deve ser também político, historiador e filósofo. Ele considera absolutamente natural que existam diferenças entre diagnósticos e estratégias de ação entre economistas. Os objetos da análise econômica são a sociedade e os agentes econômicos, que estão em constante mutação. Princípios válidos num dado momento podem tornar-se anacrônicos no momento seguinte. O autor se posta contra o uso das ciências econômicas para predição e

controle, e advoga que sua real função é entender e avaliar o contexto histórico e atual e apenas orientar previsões. Nada mais próximo da Teoria do Caos.

Mirowski segue a mesma via de Meller, agregando informações sobre o trabalho de cientistas do caos como Mandelbrot, Grandmont e Brook. Também para ele a economia ainda guarda influências da física do século XIX, influências que ajudaram a legitimar o seu discurso científico, mas que a tornaram tão limitada quanto a própria física newtoniana. Contudo, enquanto a física sofreu mudanças profundas, a economia continuou a evoluir dentro do mesmo paradigma. O autor considera que os economistas tendem a ver a Teoria do Caos apenas como uma matemática sofisticada, sem atentar para a quebra de paradigma que ela representa. O caos tira o sentido à teoria neoclássica. A teoria neoclássica existe para retratar o determinismo. A Teoria do Caos, por outro lado, revela uma simbiose entre fenômenos deterministas e aleatórios.

Routh, também seguindo o caminho dos anteriores, condena o determinismo inconcludente das ciências econômicas, por não considerar elementos essenciais como comportamentos e história. Como Mirowski, Routh crê que os economistas procuravam a "verdade científica" e a certeza, porque estas eram requisitos da ciência do século XIX. O autor também critica o conceito de equilíbrio e cita Stuart Mill: "No lugar de ordem, igualdade, perfeita organização com Posados ortodoxos, o mundo comercial é (...) de obscuridade, confusão, com perdas e destruição, e nem sempre o mais adequado sobrevive. Os problemas econômicos são marcados por mudanças, crescimento, retrocesso e flutuação. Routh crê que o grande passo para a economia é abandonar os modelos baseados no equilíbrio, e tentar avançar a compreensão sobre as descontinuidades e turbulências.

Completando o ciclo crítico, Fusfeld (1990) considera a economia moderna uma grande teologia naturalista que, ao mesmo tempo, explica o que é o mundo social e prova por que ele é bom; uma síntese de ciência positivista com valores normativos. Para ele, a visão de um mundo racional e ordenado não mais pode ser sustentada. O pressuposto de homem como otimizador racional desmorona, conduzindo uma insustentável micro-racionalidade a uma macro irracionalidade. Consequência: o equilíbrio Walrasiano cede vez ao caos.

Butler (1990) segue uma linha parcialmente similar à de Routh. Ele acredita nas possibilidades da Teoria do Caos para explicar comportamentos cíclicos e erráticos na economia. Seu foco de atenção volta-se para as possibilidades de uso da modelagem dinâmica na identificação de não-linearidades e caos. O autor discorre sobre as várias maneiras de modelar eventos econômicos e suas limitações. Para ele, os economistas estão caminhando no sentido de incluir o caos nos seus modelos, mas há ainda pouca discussão sobre a utilidade e realismo desses conceitos, quando aplicados aos fenômenos econômicos.

Aczel e Josephy (1991) estudaram as variações das taxas de câmbio de cinco países, utilizando elementos da matemática do caos. Eles procuraram caracterizar, por meio de correlações de dimensão - que são parte da geometria fractal - o grau em que essas taxas têm comportamento caótico. O estudo atestou a utilidade prática desse recurso como detetor de mudanças em séries temporais, sem que se precise recorrer ao uso de ferramentas econométricas.

Trabalhando sobre um modelo macroeconômico com dois setores, Sterman (1989) mostra como o processo decisório pode produzir caos. Sua intenção última, entretanto, é demonstrar a viabilidade, utilidade e até necessidade da incorporação dos conceitos do caos à teoria econômica, especialmente nos processos de otimização. Num mundo cujo espaço de adequação contém muitos locais ótimos, uma regra decisória que produz caos, e que explore constantemente novos caminhos, pode levar um sistema a evoluir mais rápido que uma estratégia decisória estável e incremental.

Pode-se dizer que, por várias vias, muitos economistas têm-se aberto às idéias da Teoria do Caos. Os modelos econômicos tradicionais retratam a economia como essencialmente estável, somente flutuando em torno de alguns pontos de equilíbrio por causa de eventos externos. Os novos modelos, entretanto, mostram a economia como inerentemente variável, sensível a mudanças e

difícil de controlar. Na análise econômica, nem sempre as variáveis apresentam a mesma identidade ao longo do período considerado. Isso torna a análise complicadíssima. De qualquer forma, a possibilidade de compreensão dos ciclos econômicos pelos conceitos do caos, pode vir a ser um grande vetor de contribuição para a superação dos impasses hoje vividos.

Uma nova gestão científica?

Vivemos, no campo dos modelos administrativos e de gestão, um período de ruptura. E a maneira mais usual de caracterizar essa ruptura tem sido explorar o esgotamento do modelo taylorista-fordista e o aparecimento de modelos de especialização flexível, baseados em conceitos de sistemas abertos e cibernética. Nesse contexto de transformação permeada por crises de impacto econômico e social, e por mudanças geopolíticas globais, a Teoria do Caos também encontrou um campo fértil. A idéia de complexidade e caos ambiental, impondo configurações internas igualmente instáveis e caóticas, tem um apelo irresistível para as organizações assoladas por crises que procuram decifrá-las para sobreviver.

Até ao momento, não é possível avaliar se seria esse um casamento de conveniência entre teoria e prática, e se teria ele seus dias contados. Pode-se dizer, entretanto, que essa união tem ajudado a superar a herança do modelo da gestão científica, e a ilusão de equilíbrio e estabilidade como estado natural.

Para Nonaka (1988), a gestão científica - com o ordenamento do trabalho via estudos de tempos e movimentos, divisão de tarefas e existência de hierarquias e cargos claros e bem definidos - é alicerçado na premissa do limite da capacidade humana para processar informações. Os novos modelos, por outro lado, enfatizam o papel do caos e da ambigüidade. "Só um sistema caótico pode adequar-se a um meio caótico (...). Para uma organização se renovar, ela deve se considerar em Mo equilíbrio o tempo todo." O autor explica como, num sistema, os elementos flutuam, interagindo entre si e sofrendo ciclos de *feedback*. Os sistemas auto-organizados criam ordem, reagindo seletivamente às informações do meio ambiente. Nonaka estabelece algumas regras ou princípios de como uma organização pode criar, amplificar e gerir o caos. A mensagem é clara: a renovação é uma questão de sobrevivência e exige dissolução da ordem. É preciso, portanto, negar modelos de equilíbrio e advogar o novo paradigma da auto-organização.

Freedman (1992) propõe uma nova gestão científica, a gestão do caos. Na mesma linha de Nonaka, ele cita exemplos de sistemas biológicos auto-organizados, explicando seu funcionamento. A analogia com sistemas organizacionais é óbvia.

Na prática, esses sistemas têm uma capacidade tal de mudança que não mais é possível falar em otimização ou em agentes de otimização. Eles são, na verdade, caracterizados por uma novidade perpétua. Para o autor, os gestores acham que entendem as relações causa-efeito na organização, mas, de fato, as ligações entre causa e efeito são muito complicadas e nem sempre possíveis de demonstrar. Freedman crê que as chaves de sucesso das novas organizações são a capacidade de aprendizagem e o pensamento sistêmico - a arte de ver, através da complexidade, as estruturas e os mecanismos que geram mudanças. Assim como a Teoria do Caos ensina que pequenas mudanças podem causar grandes efeitos, a teoria sistêmica mostra que uma pequena ação num ponto ótimo pode produzir melhorias significativas.

Kiel (1989), tomando por base o trabalho de Prigogine e Stengers (1992), decreta a falência do paradigma newtoniano, de um mundo de ordem e estabilidade, do qual a mudança não faz parte. Propõe, em seu lugar, um novo paradigma, que englobe as características do mundo atual de mudança acelerada, desordem, instabilidade e não equilíbrio. Prigogine, prêmio Nobel de química pelo estudo da termodinâmica de sistemas afastados do equilíbrio, descobriu que esses sistemas alternam períodos de comportamento previsível com outros de instabilidade. Nestes últimos, perturbações e atuações, num contexto de relações não lineares, levam ao rompimento de simetrias e estados de equilíbrio, potencialmente conduzindo o sistema a patamares de organização mais

elevados. Reafirma-se, mais uma vez, a premissa de que instabilidade e caos são essenciais para a evolução.

Bygrave (1989) mostra como o caos fornece uma metáfora útil para a compreensão dos processos de criação de novos empreendimentos. O autor dissecou estes processos, concluindo que eles são marcados por turbulências e instabilidades. Aconselha que os estudantes de administração sejam acostumados a equações não lineares, para desenvolver a intuição e fazer um contraponto ao pensamento reducionista, linear e incremental, que permeia a maioria dos cursos de negócios.

Priesmeyer e Baik (1989) focaram sua atenção na observação de variáveis de performance de algumas empresas, e na possibilidade de identificação de ciclos caóticos fundados em não-linearidades. Os autores contrapõem esses ciclos, próprios das organizações e seu meio ambiente, aos ciclos temporais mês, trimestre, ano - normalmente utilizados nos sistemas de planejamento, concluindo que o processo decisório pode ser enriquecido com essa nova visão.

No conjunto, os autores que se aventuraram a estudar as implicações da Teoria do Caos nos modelos de gestão, consideram que esta representa uma nova luz sobre fenômenos já de algum tempo observados, mas não se constitui, de forma alguma, numa teoria pronta. Muito pelo contrário, trata-se de um campo ainda em aberto e ávido de novas explorações.

Conclusão

Cabe agora realizar uma pequena síntese dos aspectos principais vistos ao longo deste texto. Na introdução, procurou-se mostrar como a Teoria do Caos pode significar uma importante quebra de paradigma na evolução do pensamento científico. Em seguida, foi abordada a questão da modelagem. Analisaram-se as limitações dos modelos lineares estáticos – os mais comuns e utilizados – e as possibilidades de uso de modelos não lineares dinâmicos – mais próximos da realidade – com condições de contorno apropriadas.

A seção seguinte tratou das tentativas de aplicação de princípios da Teoria do Caos em finanças. Viu-se como a matemática do caos tem atraído a atenção de analistas e acadêmicos sem, entretanto, ter ainda gerado respostas à altura das expectativas existentes. Por outro lado, pode-se verificar a utilidade da teoria no questionamento dos modelos vigentes, e na compreensão da intrincada lógica dos mercados.

Em seguida, foram vistas as aplicações em economia. Notamos como esta passa por uma crise, resultante do choque de seus pressupostos básicos com sua capacidade instrumental. A Teoria do Caos pode ser usada como rota para o questionamento desses pressupostos.

A última seção foi dedicada aos modelos de gestão. Mostrou-se como vivemos num período de transição turbulenta, marcado pela superação das premissas básicas do modelo da gestão científica. Nesse contexto, a Teoria do Caos corre em paralelo com outras correntes de idéias, na construção de novos modelos para entender e gerir as organizações.

Foi assim construído um retrato, ainda parcial e propositadamente sem retoques, das aplicações e possibilidades da Teoria do Caos relacionadas com os campos ligados à administração. Ao olhar esse retrato, a primeira imagem que notamos é a da negação de toda a pesada herança determinista, e sua influência sobre nossas vidas e nossa maneira de ver o mundo. E não é pouco. A Teoria do Caos coloca em xeque a própria possibilidade de a ciência identificar ou formular leis, a ilusão de um mundo racional e controlável.

Não deve ser surpreendente que o conceito de caos e idéias a ele associadas vão ganhando contorno e *status* de campo científico. O surpreendente é que isso só agora esteja acontecendo. Especialmente a partir do século XIX, a ciência tem sido marcada pela busca da compreensão algorítmica e da possibilidade de generalização, pela compartimentação e pela superespecialização. Nem sempre, porém, foi assim. A racionalidade já foi outra, refletindo uma visão de mundo muito diferente. A teogonia de Hesíodo, por exemplo, revela um mundo onde os eventos são percebidos como manifestações divinas. Foram os pioneiros da revolução científica que desejaram eliminar as

componentes teológicas e religiosas, que a ciência medieval havia colocado como centrais alguns séculos antes. Onde a ciência medieval acoplava à explicação dos fenômenos idéias de propósito e valores morais, a nova ciência procurou desenvolver explicações observáveis e verificáveis via causa e efeito.

Entretanto, muitos domínios, especialmente os ligados à investigação social, vivem hoje uma era de introspecção epistemológica, principalmente pela frustração causada pelo até então válido positivismo aplicado à investigação. Embora esse processo ainda não tenha gerado um paradigma alternativo definitivo, uma crescente ênfase em idéias sistêmicas – e conceitos de caos – é constatada implícita ou explicitamente.

Para Prigogine e Stengers, a metáfora usual para a evolução da ciência é a da evolução das espécies, uma arborescência de disciplinas cada vez mais diversas e especializadas, um progresso irreversível e unidirecional.

Eles propõem no lugar dessa imagem uma metáfora geológica, na qual a ordem das coisas é marcada mais por deslizamentos que por mutação. Questões abandonadas, ou negadas por uma disciplina, passam silenciosamente a outras ou reaparecem noutros contextos teóricos. O percurso às vezes é superficial, às vezes subterrâneo. Da interseção de disciplinas surgem e ressurgem questões antes compartimentadas pela divisão entre disciplinas. A história do conhecimento é uma história dramática de ambições frustradas, idéias que malogram, realizações desviadas do sentido que deveriam perseguir, mas também uma história de sucessos inesperados, descobertas surpreendentes e casamentos felizes. É, enfim, uma história de CAOS.

Glossário

Atrator: ponto ou nível ao qual um sistema retorna, quando os efeitos de perturbações externas cessam.

Atrator caótico: um sistema caótico converge para um conjunto de possíveis valores. Esse conjunto é infinito em número, mas limitado em amplitudes. Os atratores caóticos são não periódicos.

Caos, sistemas caóticos: termo relacionado com comportamentos irregulares e complexos que aparentam ser aleatórios, mas que na verdade têm uma ordem matemática subjacente. Suas características essenciais são as seguintes: comportamentos parcialmente traduzidos por equações não lineares; possibilidades de pequenos *inputs* gerarem grandes efeitos; existência de ciclos e padrões; e imprevisibilidade, principalmente a médio e longo prazo.

Fractais: medem a irregularidade de linhas ou curvas, planos e volumes. Uma reta tem dimensão 1.00, um quadrado 2.00 e um cubo 3.00. A linha costeira pode ter dimensões entre 1.15 e 1.25; os índices do mercado de ações podem ter dimensões entre 1.30 e 1.40. A geometria fractal tem aplicações práticas na identificação de padrões deterministas em sistemas.

Sistemas deterministas: sistemas nos quais o comportamento é determinado por uma equação ou um conjunto de equações, que envolvem um pequeno grupo de variáveis. Os sistemas deterministas são previsíveis.

Sistemas não lineares dinâmicos: sistemas nos quais o comportamento pode ser traduzido por relações exponenciais. Podem evoluir de comportamentos deterministas bem definidos, para resultados crescentemente complexos e irregulares. O adjetivo dinâmico decorre do fato de o valor presente do sistema ser uma transformação do valor passado. Os sistemas caóticos são sempre não lineares e dinâmicos. O inverso não é verdadeiro.

Referências bibliográficas

- ACZEL, A.D. & JOSEPHY, N.H. (1991). The chaotic behavior of foreign exchange rates. *American Economist*, 35, Fall, 16-24.
- BLANK, S.C. (1991). "Chaos" in futures markets? A nonlinear dynamical analysis. *Journal of Futures Markets*. 11(6), 711-728.
- BORMAN, S. (1991). Researchers find order, beauty in chaotic chemical systems. *Chemical & Engineering News*. 69, Jan.21, 18-20.
- BUTLER, A. (1990). A methodological approach to chaos: Are economists missing the point? *Federal Reserve Bank of St. Louis Review*, 72(2), 36-48.
- BYGRAVE, W.D. (1989). The entrepreneurship paradigm (II): Chaos and catastrophes among quantum jumps? *Entrepreneurship Theory & Practice*, 14(2), 7-30, Winter 1989.
- DANEKE, G.A. (1990). A science of public administration? *Public Administration Review*, 50(3), 383-392.
- FREEDMAN, D.H. (1992). Is management still a science? (overview of literature on chaos theory applied to organizations). *Harvard Business Review*, 70(6), 26-28.
- FUSFELD, D.R. (1990). Economics and the determinate world view. *Journal of Economic Issues*, 24(2), 355-359.
- GLEICK, J. (1987). *Chaos: Making a new science*. New York: Viking P. HSIEH, D.A. (1991). Chaos and nonlinear dynamics: applications to financial markets. *The Journal of Finance*, 46(5), 1839-1877.
- KIEL, L.D. (1989). Nonequilibrium theory and its implications for public administration. *Public Administration Review*, 49(6), 544-551.
- KUHN, Thomas S. *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo : Perspectiva, 1990. 257 p.
- LAING, J.R. (1991). Efficient chaos: or, things they never taught in business school. *Barrons*, 71, July, 12-13.
- LARRAIN, Maurice. Testing chaos and nonlinearities in T-bill rates. *Financial Analysts Journal*. 47(5), 51-62, @t./Oct. 1991.
- MELLER, P. (1987). Uma revisão da crise na ciência econômica (keynesianismo x monetarismo). *Revista de Economia Política* 7(4), 73-91.
- MIROWSKI, P. (1990). From Mandelbrot to chaos in economic theory. *Southern Economic Journal*, 57, Oct., 289-307.
- NONAKA, I. (1988). Creating organizational order out of chaos: Self-renewal in Japanese firms. *California Management Review*, 30(3), 57-73.
- PETERS, E.E. (1991). A chaotic attractor for the S&P 500. *F@CW Analysts Journal*, 47(2), 55-62.
- PRIESMEYER, H.R., Baik, K. (1989) A potencial new planning tool: discovering the patterns of chaos. *Pl@g Review*, 17(6), 14-21.
- PRIGOGINE, I. & Stengers, I. (1992). *Entre o tempo e a eternidade*. São Paulo: Schwarcs. . A nova aliança. Brasília: UNB, 1991. 247 p.
- ROUTH, G. (1989). Economics and chaos. *Challenge*, 32(4), 47-52. Savit, R. (1989). Nonlinearities and chaotic effects in options prices. *Journal of Futures Markets*, 9(6), 507-518.
- SIMON, H.A. (1990). Prediction and prescription in systems modeling. *Operations Research*, 38(1), 7-14.
- SPINK, P. (1991). O resgate da parte. *Revista de Administração*, 26(2), 22-31.

STERMAN, J.D. (1989). Deterministic chaos in an experimental economic system. *Journal of Economic Behavior & Organization*. 12(1), 1-28.

THE MATHEMATICS of mayhem. *The Economist*. New York, v. 292, n. 7358, p. 83-85, 8 Sept. 1984.