



STEVEN JOHNSON

emergência

A DINÂMICA DE REDE EM FORMIGAS, CÉREBROS, CIDADES E SOFTWARES

Melhor Livro do Ano da *Esquire*
Livro Notável do *New York Times*

Sumário

Título original:
*Emergence (The Connected Lives of
Ants, Brains, Cities and Software)*

Tradução autorizada da primeira edição norte-americana
publicada em 2001 por Scribner, de Nova York, EUA

Copyright © 2001, Steven Johnson
Copyright © 2003 da edição brasileira:
Jorge Zahar Editor Ltda.
rua México 31 sobreloja
20031-144 Rio de Janeiro, RJ
tel.: (21) 2240-0226 / fax: (21) 2262-5123
e-mail: jze@zahar.com.br
site: www.zahar.com.br

Todos os direitos reservados.
A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo
ou em parte, constitui violação de direitos autorais. (Lei 9.610/98)

CIP-Brasil. Catalogação-na-fonte
Sindicato Nacional dos Editores de Livros, RJ.

J65e Johnson, Steven
Emergência: a vida integrada de formigas, cérebros, cidades e
softwares / Steven Johnson; tradução Maria Carmelita Pádua Dias;
revisão técnica Paulo Vaz. — Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2003
(Interface)

Tradução de: Emergence: (the connected lives of ants, brains,
cities and software)
Inclui bibliografia
ISBN 85-7110-739-4

1. Sistemas auto-organizáveis. 2. Engenharia de sistemas. I. Tí-
tulo.

03-1543

CDD 003.7
CDU 004.89

Introdução: Todos por um 9

PARTE UM

1. O mito da formiga-rainha 21

PARTE DOIS

2. Nível da rua 53

3. Padrões equivalentes 74

4. Ouvindo o feedback 96

5. Artistas do controle 121

PARTE TRÊS

6. Os leitores da mente 145

7. Veja o que acontece 170

Notas 177

Bibliografia 206

Agradecimentos 215

Índice remissivo 218

CAPÍTULO 1

O mito da formiga-rainha

Levantai-vos, monstruoso formigueiro na planície
De um mundo tão ativo! Diante de mim passa
Vossa corrente interminável de homens e coisas se movendo!
Vossa aparência diária, enquanto golpeia —
Com assombro ampliada, ou sublimada pelo temor —
Os estrangeiros, de todas as idades; a dança célere
De cores, luzes e formas; o ruído ensurdecedor;
Os que vêm e os que vão face a face,
Face após face...

— WORDSWORTH, "Residence in London"

As cidades não têm comissões centrais de planejamento que resolvam o problema de compra e distribuição de mercadorias ... Como essas cidades evitam flutuações desastrosas entre escassez e excesso, ano após ano, década após década? O mistério aumenta quando observamos a natureza caleidoscópica das grandes cidades. Compradores, vendedores, governantes, ruas, pontes e prédios estão sempre mudando, de maneira que a coerência de uma cidade é imposta de algum modo em um fluxo perpétuo de pessoas e estruturas. Como a onda que se ergue diante de uma rocha, em meio à correnteza vertiginosa, uma cidade é um padrão no tempo.

— JOHN HOLLAND

É início de outono em Palo Alto, e Deborah Gordon e eu estamos no seu escritório, no prédio de Ciências Biológicas Gilbert, da Universidade de Stanford, onde ela passa três quartos do ano estudando ecologia comportamental. Nos outros meses, ela faz pesquisa de campo com as formigas cortadeiras do sudoeste americano; quando nos encontramos, seu rosto trazia ainda vestígios do bronzeado da última viagem ao deserto do Arizona.

Vim conversar com ela para aprender mais a respeito da inteligência coletiva das colônias de formigas. Elegante, vestindo uma camisa branca, Deborah Gordon aborda alegremente algumas questões quase filosóficas sobre sistemas complexos e comportamento de grupo, mas posso perceber que está ansiosa para mostrar algo mais prático. Depois de alguns minutos de reflexão casual, pula da cadeira. "Por que não começamos logo e eu mostro a você as formigas que temos aqui?", diz. "E depois podemos falar sobre o que isso significa."

Ela me leva até uma sala sombria do outro lado do corredor, onde três mesas compridas estão dispostas lado a lado. A primeira impressão é a de um salão de sinuca esterilizado e vazio, até eu chegar mais perto de uma das mesas e ver a miniatura de civilização que vive em cada uma delas. Mais próximas de um Habitrail* do que a nossa tradicional idéia de uma fazenda de formigas, as engenhocas de Gordon alojam uma complexa rede de tubos plásticos conectando aproximadamente doze caixas de plástico, todas elas revestidas com uma massa úmida coberta por uma fina camada de sujeira.

"Tampamos os ninhos com plástico vermelho porque algumas espécies não enxergam a luz vermelha", Gordon explica. "Isso parece acontecer com

* Habitrail é uma linha de equipamentos (gaiolas etc.) para hamsters, compostos por diversos blocos e módulos de montagem. (N.T.)

esta espécie também.” Por um segundo, não entendo o que ela quer dizer com “esta espécie” — e então meus olhos se ajustam à cena e percebo, com um susto, que não é sujeira o que cobre as caixas de plástico: são milhares de formigas cortadeiras, tão coladas umas nas outras que, de início, as confundo com uma massa uniforme. Um segundo mais tarde, constato que toda a colônia simulada está admiravelmente viva, os aglomerados de formigas vibrando em movimento constante. Os tubos, as aglomerações e as multidões amontoadas me trazem imediatamente um pensamento à mente: o sistema de metrô de Nova York na hora do *rush*.

No âmago do trabalho de Gordon está um mistério sobre como se desenvolvem as colônias de formigas, um mistério cujas implicações se estendem muito além da terra ressecada do deserto do Arizona — para nossas cidades, nossos cérebros, nossos sistemas imunológicos e, cada vez mais, para nossa tecnologia. O trabalho de Gordon focaliza a conexão existente entre o micro-comportamento individual das formigas e o comportamento global das próprias colônias. Parte dessa pesquisa envolve o acompanhamento dos ciclos de vida de cada colônia em separado, ano após ano, à medida que elas esquadriham o solo do deserto procurando por comida, que competem com outras colônias por território e — uma vez por ano — que se acasalam. Em outras palavras, Gordon estuda um tipo específico de sistema emergente de auto-organização.

Cave uma colônia de formigas cortadeiras e você vai invariavelmente descobrir que falta a rainha. Para encontrar a matriarca da colônia, precisará examinar o fundo do buraco que acabou de cavar: vai encontrar uma passagem estreita, quase invisível, que se aprofunda ainda por mais uns 60 cm, até um pequeno vestíbulo escondido na terra. Ali você vai encontrar a rainha. Várias damas de companhia a escondem ao menor sinal de perturbação. A passagem estreita, na verdade, é uma saída de emergência, não muito diferente de um abrigo antinuclear encravado abaixo da ala presidencial da Casa Branca.

Contudo, apesar do comportamento típico de Serviço Secreto e da nomenclatura régia, não há nada de hierárquico na maneira como uma colônia de formigas funciona. “Embora *rainha* seja uma palavra que lembra sistemas políticos humanos”, explica Gordon, “a rainha não é uma figura de autoridade. Ela põe os ovos e recebe cuidados e alimentos das operárias. Ela não decide o que cada operária faz. Em uma colônia de formigas cortadeiras, muitos metros de aposentos e túneis complicados e milhares de formigas separam a rainha, cercada de operárias internas, das formigas que trabalham fora do ninho e só usam os aposentos próximos da superfície. Seria fisicamente impossível para a rainha dirigir a decisão de cada operária sobre que tarefa realizar e quando.”

As formigas cortadeiras que carregam a rainha pela saída de emergência não fazem isso porque algum líder ordenou; elas fazem porque a formiga-rainha é responsável pela geração de todos os membros da colônia; assim, é do interesse de toda a colônia — e da combinação de genes da colônia — manter a rainha a salvo. Seus genes as instruem a proteger sua mãe, da mesma maneira que seus genes as instruem a procurar suprimentos. Em outras palavras, a matriarca não treina seus servos para protegê-la, é a evolução que faz isso.

A cultura popular fortalece o estereótipo stalinista das formigas — confirma o regime autoritário da colônia no desenho animado *FormiguinhaZ* — mas, na realidade, as colônias são exatamente o oposto das economias de comando. Ainda que elas sejam capazes de feitos extraordinariamente coordenados de alocações de tarefas, não há nenhum Plano Quinquenal no reino das formigas. As colônias estudadas por Gordon mostram um dos mais impressionantes comportamentos descentralizados da natureza: inteligência, personalidade e aprendizado emergem de baixo para cima, bottom-up.

Ainda estou observando o emaranhado de tubos plásticos quando Gordon dirige minha atenção para as duas enormes tábuas brancas coladas ao espaço principal da colônia, uma empilhada em cima da outra, ligadas por uma rampa (imagine um estacionamento de dois andares próximo a uma rampa de metrô). Um punhado de formigas vagueia pelas pranchas, algumas carregando nas costas objetos parecidos com migalhas, outras aparentemente só passeando. Se isso fosse o Central Park da metrópole das formigas de Gordon, acho que seria um dia útil.

Gordon aponta o canto mais próximo da tábua superior, distante cerca de dez centímetros da rampa que leva ao andar de baixo, onde uma pilha de poeira de textura estranha — cheia de pequeninas conchas e cascas espalhadas — faz um nítida pressão contra a parede. “É a lixeira”, diz ela. “É o depósito de lixo da cidade.” Ela aponta três formigas subindo a rampa, quase invisíveis por baixo de uma concha comicamente imensa. “Essas formigas trabalham na coleta do lixo: tiram o que sobra da comida acumulada — neste caso, sementes de grama — e o depositam na lixeira.”

Com dois passos rápidos, Gordon passa para o lado oposto da mesa, na outra extremidade da rampa. Mostra o que parece ser outra pilha de poeira. “E aqui é o cemitério”. Olho de novo, surpreso. Ela está certa: centenas de carcaças de formigas empilham-se umas sobre as outras, cuidadosamente comprimidas contra o canto da mesa. Parece brutal mas, ainda assim, estranhamente metódico.

Conheço o suficiente sobre comportamento de colônias para concordar, admirado: “Então, de algum modo elas decidiram coletivamente usar esses dois locais como depósito de lixo e cemitério”, digo. Nenhuma formiga definiu

individualmente para que se destinam essas áreas, nenhum planejador central separou uma área para lixo, a outras para os mortos. “Simplesmente aconteceu, não foi?”

Gordon sorri e vejo que não captei algo. “É melhor do que isso”, diz ela. “Veja o que realmente aconteceu aqui: elas construíram o cemitério exatamente no ponto mais distante da colônia. E o depósito de lixo é ainda mais interessante: elas o colocaram no ponto de maior distância *tanto* do cemitério *quanto* da colônia. É como se houvesse uma regra a ser seguida: colocar as formigas mortas o mais longe possível e colocar o lixo o mais longe possível, sem deixá-lo perto das formigas mortas.”

Preciso de alguns segundos para entender a geometria: realmente, as formigas fizeram tudo direitinho. Eu me pego rindo alto, ao pensar que é como se elas tivessem resolvido um desses problemas de matemática espacial, comuns nos testes padronizados, encontrando uma solução sob medida para seu meio ambiente, uma solução que facilmente confundiria um ser humano de oito anos de idade. A questão é: quem promoveu tudo isso?

Trata-se de uma questão com uma longa e majestosa história, certamente não limitada ao comportamento coletivo das colônias de formigas. Sabemos agora a resposta porque desenvolvemos poderosas ferramentas para refletir sobre a inteligência emergente de sistemas de auto-organização — e para modelá-los; mas nem sempre a resposta foi tão clara. Sabemos agora que sistemas como as colônias de formigas não têm líderes reais, que a própria idéia de uma “formiga-rainha” é enganadora. Porém, nosso desejo de encontrar líderes em tais sistemas sempre foi forte — em relação ao comportamento de grupo dos insetos sociais e ao comportamento humano coletivo que cria uma cidade pulsante.

Existem registros datados de 76 d.C. de uma fortificação romana situada na confluência dos rios Medlock e Irwell, na extremidade nordeste da Inglaterra moderna, a cerca de 150 milhas de Londres. Povoados existiram ali por três séculos e se extinguíram junto com o resto do império, por volta de 400 d.C. Os historiadores acreditam que o local ficou desocupado por meio milênio, até uma cidade chamada Manchester começar a surgir. O nome veio do povoado romano Mamucium — “lugar do morro em forma de seio” em latim.

Manchester permaneceu durante a maior parte do milênio como um burgo indefinido no norte da Inglaterra: agraciada com uma licença em 1301, a cidade estabeleceu uma faculdade no começo do século XV, mas permaneceu subordinada à vizinha Salford por centenas de anos. No século XVII, a região de Manchester se tornou o ponto central do comércio de lã, com seus comer-

ciantes embarcando mercadorias ao continente por meio do grande porto de Londres. Era impossível saber naquele tempo, mas Manchester — e, sem dúvida, toda a região de Lancashire — fixara-se no centro de uma revolução tecnológica e comercial que iria alterar inexoravelmente o futuro do planeta. Manchester está na confluência de várias correntes históricas mundiais: as nascentes tecnologias industriais de tecelagens movidas a vapor; o sistema bancário da Londres comercial; os mercados globais e os conglomerados trabalhistas do Império Britânico. A história dessa convergência foi contada muitas vezes e até hoje persiste o debate sobre suas conseqüências. Entretanto, além dos efeitos épicos na economia global, a decolagem para a indústria que ocorreu entre 1700 e 1850 também criou um novo tipo de cidade, cuja expansão literalmente explodiu.

As estatísticas de crescimento populacional bastam para demonstrar a força dessa explosão: em 1773, estimava-se que 24.000 pessoas viviam em Manchester; o primeiro censo oficial, em 1801, encontrou 70.000. Na metade do século, havia mais de 250.000 habitantes da cidade — um aumento de 10 em apenas 75 anos. Essa taxa de crescimento foi tão inédita e violenta quanto as máquinas a vapor. De certo modo, a cidade cresceu depressa demais para que as autoridades se dessem conta. Por 500 anos, Manchester foi tecnicamente considerada “domínio rural”, o que significava, aos olhos da lei, que era governada como um estado feudal, sem governo local — sem urbanistas, polícia ou autoridades de saúde pública. Manchester não teve representantes ao Parlamento até 1832, e só foi emancipada seis anos depois. No início da década de 1840, o recém-formado conselho do burgo finalmente começou a instituir reformas de saúde pública e de planejamento urbano, mas o governo britânico só reconheceu Manchester como cidade em 1853. Isso constitui uma das grandes ironias da Revolução Industrial e mostra como a mudança foi drástica: a cidade que mais definiu o futuro da vida urbana na primeira metade do século XIX só foi legalmente considerada uma cidade quando a grande explosão já estava em curso.

O resultado dessa descontinuidade foi possivelmente a menos planejada e mais caótica cidade nos seis mil anos de história dos assentamentos urbanos. Barulhenta, poluída, exageradamente habitada, Manchester atraiu, na década de 1830, um fluxo contínuo de intelectuais e figuras públicas, que viajavam para o norte em direção ao magnetismo industrial, à procura do futuro do mundo moderno. Um por um, eles retornaram com histórias de sordidez abjeta e sobrecarga nervosa, lutando com as palavras para transmitir a imensidão e a singularidade da experiência. “O que vi me repugnou e me assombrou mais do que tudo”, Dickens escreveu após uma visita à cidade no outono de 1838. “Pretendo fazer tudo o que estiver ao meu alcance para o bem dessas

criaturas desventuradas.” Nomeado para comandar os distritos do norte, no final da década de 1830, o general Charles James Napier escreveu: “Manchester é a chaminé do mundo. Malandros ricos, trapaceiros pobres, maltrapilhos bêbedos e prostitutas formam a moral... Que lugar! A entrada para o inferno, concretizada.” Tocqueville visitou Lancashire em 1835 e descreveu a paisagem em uma linguagem que ecoaria pelos dois séculos seguintes: “Dessa vala imunda, a maior corrente de indústria humana flui para fertilizar o mundo inteiro. Desse esgoto podre, escoo ouro puro. Aqui a humanidade alcança seu desenvolvimento mais completo e mais brutal; aqui a civilização opera seus milagres e homens civilizados são transformados quase em selvagens.”

Mas o mais celebrado e influente documentarista de Manchester foi um jovem chamado Friedrich Engels, que chegou em 1842 para ajudar a supervisionar a fábrica de algodão pertencente à família e para testemunhar, em primeira mão, o mecanismo da história levando a classe trabalhadora para mais perto da autoconsciência. Engels estava na folha de pagamento da firma de seu pai, a Ermen e Engels, mas, quando chegou a Manchester, também estava sob domínio de políticos radicais ligados à escola dos jovens hegelianos. Tornara-se amigo de Karl Marx alguns anos antes e fora encorajado a visitar Manchester pelo socialista Moses Hess, que conhecera em 1842. Seus três anos na Inglaterra foram, assim, um tipo de missão de reconhecimento para a revolução, financiada pela classe capitalista. O livro que Engels posteriormente escreveria, *A condição da classe operária na Inglaterra*, ainda hoje é um dos tratados clássicos da história urbana e representa o relato definitivo da vida em Manchester no século XIX, com todo o seu tumulto e dinamismo. Dickens, Carlyle e Disraeli tentaram capturar o clima de turbulência épica de Manchester, mas seus esforços foram suplantados por um prussiano de 24 anos de idade.

Contudo, o livro não é, como seria de esperar, um mero documento sobre o caos industrial de Manchester, uma história de tudo o que é sólido se desmanchando no ar, tomando emprestada uma frase que um camarada de Engels escreveria muitos anos depois. No meio da insanidade da cidade, Engels vislumbrou um estranho tipo de ordem e em um maravilhoso trecho guia o leitor por uma excursão pela capital industrial, uma excursão que revela um tipo de política construído na própria topografia das ruas da cidade. O trecho demonstra o aguçado poder de observação de Engels, e eu o transcrevo integralmente porque capta mais uma coisa — como é difícil pensar em modelos de auto-organização, imaginar um mundo sem líderes.

A própria cidade é construída de uma maneira peculiar, de modo que uma pessoa pode morar nela durante anos, entrar e sair dela diariamente sem ter

contato com um bairro popular e nem mesmo com operários — quer dizer, contanto que a pessoa se limite aos seus próprios negócios ou a passear por puro prazer. Isto decorre principalmente das circunstâncias de que, através de um acordo tácito e inconsciente, assim como de uma intenção explícita e consciente, mantêm os bairros populares totalmente separados das partes da cidade reservadas à classe média...

Sei muito bem que essa maneira enganosa de construir é mais ou menos comum a todas as grandes cidades. Sei também que, em virtude de seu tipo de negócio, os comerciantes precisam alojar-se nas vias principais, de muito movimento. Sei que, nessas ruas, há mais casas boas do que casas humildes, e que o valor do terreno é mais alto nas redondezas do que nos locais mais afastados. Mas, ao mesmo tempo, em nenhum outro lugar, a não ser em Manchester, vi um isolamento tão sistemático das classes operárias. Nunca vi em outro lugar ocultar-se com tão fina sensibilidade tudo o que pudesse ofender os olhos e os nervos da classe média. E, no entanto, mais do que acontece com qualquer outra cidade, Manchester foi construída com menos planejamento e menos restrições por parte de regulamentos oficiais do que qualquer outra cidade — na verdade, cresceu ao acaso. Ainda assim... não consigo deixar de sentir que os industrialistas liberais, os “bigwigs” de Manchester, não são inocentes desse estilo acanhado de construção.

Você quase pode ouvir as contradições se chocando nesse trecho, como as “fábricas escuras e satânicas” da própria Manchester. A cidade construiu um *cordon sanitaire* para separar os industriais da miséria que eles desencadearam no mundo, escondendo a desmoralização dos bairros operários de Manchester — e, ainda assim, esse ato de esconder acontece sem uma “intenção explícita e consciente”. A cidade parece engenhosamente planejada para esconder suas atrocidades, mas “foi construída com menos planejamento”, do que qualquer outra cidade. Como diz Steven Marcus, em seu relato sobre a estada do jovem Engels em Manchester, “a questão a ser levada em consideração é que essa organização surpreendente e ultrajante não pode ser totalmente compreendida como o resultado de uma trama, ou mesmo de um projeto deliberado, embora esteja sob o controle daqueles a quem interessa esse traçado. Na verdade, trata-se de um estado de coisas organizadas grande demais e complexo demais para ter sido *pensado* de antemão, para ter preexistido enquanto idéia.”

Em outras palavras, as amplas e brilhantes avenidas sugerem uma aldeia Potemkin sem um Potemkin. Essa mistura de ordem e anarquia é o que chamamos de comportamento emergente. Os críticos de questões urbanas desde Lewis Mumford e Jane Jacobs sabem que as cidades têm vida própria, com bairros se povoando sem nenhuma figura de Robert Moses para impor

um plano a partir de cima. Porém, só recentemente a compreensão desse fato entrou no pensamento intelectual — quando Engels caminhou pelas ruas de Manchester na década de 1840, ele ficou tateando como um cego, tentando encontrar um culpado para a perversa organização da cidade, mesmo sabendo que ela, reconhecidamente, não tivera um planejamento. Assim como a maioria das histórias intelectuais, o desenvolvimento desse novo entendimento — as ciências da complexidade e da auto-organização — é uma história complicada, multifacetada, com muitos agentes se inter-relacionando ao longo do seu percurso. Provavelmente é melhor pensar nela menos como uma narrativa linear e mais como uma rede interconectada, crescendo cada vez mais densa naquele século e meio que nos separa da primeira visita de Engels a Manchester.

Complexidade é uma palavra que aparece freqüentemente em relatos críticos sobre espaço metropolitano, mas existem apenas dois tipos de complexidade fundamentais para a cidade, duas experiências com implicações bastante diferentes para os indivíduos que tentam entendê-las. Em primeiro lugar, há o sentido mais convencional de complexidade, como uma sobrecarga sensorial, a cidade expandindo o sistema nervoso humano até seus extremos e, no processo, ensinando uma série de novos reflexos — e abrindo caminho para uma série complementar de valores estéticos, que se desenvolvem como uma casca em volta da ferida. O crítico cultural alemão Walter Benjamin escreveu o seguinte em sua obra-prima inacabada, *O projeto das arcadas*:

Talvez a visão diária de uma multidão em movimento apresentasse ao olhar um espetáculo para o qual ele tinha de se adaptar... [D]epois não é impossível supor-se que, tenho vencido esse desafio, o olhar acolheria de bom grado as oportunidades para confirmar a nova habilidade. O método de pintura impressionista, que compõe o quadro por meio de uma orgia de pinceladas coloridas, seria um reflexo da experiência com que se familiarizam os olhos dos habitantes de uma cidade grande.

Nos séculos XIX e XX, uma longa lista de textos leva a esse caminho, desde os capítulos londrinos do *Prelúdio*, de Wordsworth, até as meditações nas caminhadas de *Os dublinenses*, de Joyce: o barulho e a irracionalidade transformados, de algum modo, em experiência estética. A multidão é algo na qual você se insere pela pura poesia da experiência. Contudo, a complexidade não é somente uma questão de sobrecarga sensorial. Há também o sentido de complexidade como um sistema de auto-organização — mais para Instituto Santa Fé do que para Escola de Frankfurt. Tal tipo de complexidade vive em um nível

acima: descreve o sistema da própria cidade e não uma recepção sensorial por parte do habitante. A cidade é complexa porque surpreende, sim, mas também porque tem uma personalidade coerente, uma personalidade que se auto-organiza a partir de milhões de decisões individuais, uma ordem global construída a partir de interações locais. Essa é a nova complexidade “sistemática” que Engels vislumbrou nas avenidas de Manchester: não a anarquia e o excesso que ele documentou em outros lugares, mas, em vez disso, um estranho tipo de ordem, um padrão nas ruas que promovia os valores políticos da elite de Manchester sem ser deliberadamente planejado por ela. Sabemos agora, a partir de modelos de computador e estudos sociológicos — assim como dos estudos de sistemas comparáveis gerados pelos insetos sociais, como as formigas cortadeiras de Gordon —, que padrões maiores podem emergir de ações locais descoordenadas. Porém, para Engels e seus contemporâneos, aqueles formatos urbanos não-planejados devem ter parecido assombrosos. A cidade parecia ter vida própria.

Cento e cinquenta anos mais tarde, as mesmas técnicas traduzidas em linguagem de software — como na simulação de *Dictyostelium discoideum* feita por Mitch Resnick — desencadeiam uma reação semelhante: a estranha sensação de algo parecido com um ser vivo, algo orgânico formando-se na tela. Mesmo quem tem um conhecimento sofisticado dos sistemas de auto-organização ainda vê esses formatos como desconcertantes — em sua mistura de estabilidade e mudança, em sua capacidade ilimitada de aprendizado. O impulso de construir modelos centralizados para explicar tal comportamento permanece quase tão forte quanto na época de Engels. Quando vemos formatos recorrentes e estruturas emergindo de nosso caos aparente, nossa reação imediata é procurar os líderes.

Compreendido em sentido mais abstrato, o que Engels observou são *padrões* no cenário urbano, visíveis porque têm uma estrutura repetitiva que os distingue do mero ruído que naturalmente poderíamos associar a uma cidade não-planejada. São padrões de tomada de decisão e movimento humano que foram gravados na textura dos quarteirões, padrões que depois voltam para os próprios habitantes de Manchester, alterando suas decisões subsequentes (nesse sentido, são exatamente o oposto do sentido tradicional de complexidade urbana — são sinais emergindo de um lugar do qual só esperaríamos ruído). Uma cidade é um tipo de máquina de ampliar padrões: seus bairros são uma forma de medir e expressar o comportamento repetitivo de coletividades maiores — capturar informação sobre o comportamento do grupo e trocar essa informação com o grupo. Como esses padrões retornam para a comunidade, pequenas mudanças de comportamento podem rapidamente se amplificar em movimentos maiores: lojas de primeira linha domi-

nam as principais avenidas, enquanto a classe operária permanece aglomerada invisivelmente nas vielas e ruas transversais; os artistas vivem na margem esquerda, os banqueiros e investidores no bairro chique. Você não precisa de regras e projetistas urbanos para criar deliberadamente essas estruturas. Tudo de que você precisa são milhares de indivíduos e algumas regras simples de interação. As reluzentes vitrines das lojas atraem mais reluzentes vitrines de lojas e empurram os mais pobres para a parte escondida. Não há necessidade de um barão Haussmann nesse mundo, apenas alguns poucos padrões repetitivos de movimentos, ampliados em formas maiores que duram por vidas inteiras: aglomerações, favelas, bairros.

No entanto, nem todos os padrões são visíveis para qualquer morador da cidade. A história do urbanismo também é a história de mais signos mudos, construídos pelo comportamento coletivo de grupos menores e raramente detectados pelos intrusos. Manchester abriga vários desses aglomerados secretos, persistindo a muitas gerações, como “uma onda que se ergue diante de uma rocha em meio à correnteza vertiginosa”. Um deles fica ao norte da Universidade de Victoria, no ponto onde a Oxford Road se torna Oxford Street. Há relatos, que remontam à metade do século XIX, de homens encontrando outros homens nesses quarteirões, procurando sexo casual, relações mais duradouras, ou até a camaradagem da identidade compartilhada, numa época em que essa identidade não ousava dizer seu nome. Alguns historiadores especulam que Wittgenstein visitou essas ruas durante sua estada em Manchester em 1908. Quase cem anos mais tarde, o local se autodenominou Gay Village e passou a promover ativamente seus cafés e butiques como um endereço imperdível para os turistas na cidade, como a Christopher Street de Manhattan e o Castro de São Francisco. O padrão agora se irradiou para um público maior, mas não perdeu a forma.

Porém, mesmo em uma amplitude mais baixa, o sinal já era alto o bastante para atrair a atenção de outro ilustre imigrante de Manchester: o polímata britânico Alan Turing. Como parte de sua heróica contribuição para o esforço de guerra, Turing estudou os padrões matemáticos, projetando as equações e as máquinas que desvendaram o “inquebrável” código alemão do dispositivo Enigma. Após um frustrante cargo, durante três anos, no Laboratório Nacional de Física de Londres, Turing mudou-se para Manchester em 1948 para ajudar a fazer funcionar o embrionário laboratório de computadores da universidade. Foi em Manchester que Turing começou a refletir sobre o problema do desenvolvimento biológico em termos matemáticos, abrindo caminho para o artigo “Morphogenesis”, publicado em 1952, e que Evelyn Fox Keller iria

redescobrir mais de uma década depois. A pesquisa de guerra de Turing tinha focalizado como detectar padrões ocultos dentro do aparente caos de um código, mas, enquanto morou em Manchester, sua mente gravitou para uma imagem reflexa do problema original de quebrar códigos: de que modo padrões complexos podiam surgir seguindo regras simples? Como uma semente sabe criar uma flor?

O artigo de Turing sobre morfogênese — literalmente, o “início da forma” — acabou sendo uma de suas obras seminais, em pé de igualdade com suas especulações e artigos mais difundidos: a obra sobre o problema da indecidibilidade de Gödel, a Máquina de Turing, o Teste de Turing — sem mencionar suas contribuições ao projeto físico do moderno computador digital. Contudo, o artigo sobre morfogênese foi apenas o início de uma forma — uma mente brilhante sentindo o esboço de um novo problema, mas sem captar integralmente todas as suas complexidades. Se Turing tivesse tido mais algumas décadas para explorar os poderes da automontagem — sem mencionar o acesso ao poder de triturar números dos computadores que não usavam mais válvulas —, não é difícil imaginar sua mente ampliando enormemente nossa compreensão posterior do comportamento emergente. Mas a pesquisa em morfogênese foi tragicamente interrompida com sua morte em 1954.

Alan Turing provavelmente foi uma vítima das leis brutalmente homofóbicas da Grã-Bretanha do pós-guerra, mas sua morte também tem ligações com aqueles discretos padrões de vida das ruas de Manchester. Desde sua chegada, Turing conhecia aquele trecho na Oxford Road; de vez em quando, passava pela região, encontrando outros homossexuais — convidando alguns deles para seu apartamento, para um bate-papo e provavelmente algum contato físico. Em janeiro de 1952, foi naquelas ruas que Turing conheceu um jovem chamado Arnold Murray. Os dois embarcaram em uma breve relação que logo se desgastou. Murray — ou um amigo dele — invadiu a casa de Turing e roubou alguns objetos. Turing notificou o roubo para a polícia e, com a costumeira franqueza, não se esforçou em ocultar o caso com Murray quando a polícia foi até seu apartamento. De acordo com as leis britânicas, o homossexualismo era um crime, punível com até dois anos de prisão, e assim a polícia imediatamente acusou Turing e Murray de “indecência vulgar”.

No dia 29 de fevereiro de 1952, enquanto as autoridades da cidade preparavam seu julgamento, Turing terminou a revisão do artigo sobre morfogênese e discutiu sobre seus méritos com Ilya Prigogine, o químico belga que, com um trabalho sobre termodinâmica do não-equilíbrio, mais tarde seria agraciado com um Prêmio Nobel. Em um dia, Turing completou o texto que ajudaria a criar a disciplina da biomatemática e inspiraria Keller e Segel em suas desco-

bertas sobre o *Dictyostelium discoideum* quinze anos mais tarde, e teve uma animada troca de idéias com o homem que acabaria por atingir fama mundial com uma pesquisa sobre sistemas de auto-organização. Naquele dia de inverno de 1952, não havia uma mente na face da terra mais preparada para lidar com os mistérios da emergência do que Alan Turing. Mas o mundo exterior àquela mente conspirava para destruí-la. Na mesma manhã, um jornal local trouxe a notícia de que o gênio e herói de guerra tinha sido apanhado em um romance ilícito com um rapaz de dezenove anos.

Em poucos meses, Turing foi condenado pelo crime e passou a receber um humilhante tratamento de estrogênio para “curá-lo” de sua homossexualidade. Perseguido pelas autoridades e impossibilitado de continuar com os ultra-secretos projetos britânicos de computação, para os quais tanto tinha contribuído, Turing morreu dois anos mais tarde, aparentemente por suicídio.

A carreira de Turing já havia esbarrado várias vezes com a crescente rede de emergência antes daqueles fatídicos anos em Manchester. No início da década de 1940, durante o pico dos esforços de guerra, ele passara vários meses nos lendários Laboratórios Bell, em Manhattan, onde trabalhou com uma série de esquemas de criptografia, incluindo uma tentativa de transmitir formas de ondas maciçamente codificadas que poderiam ser decodificadas como fala humana, com o uso de uma senha especial. Logo no início de sua visita aos Laboratórios Bell, Turing teve a idéia de usar uma outra invenção da Bell, o Vocoder — posteriormente usado por músicos de rock, como Peter Dinklage, para combinar sons de guitarra e vocais — como uma forma de fala criptografada (em 1943, as idéias de Turing já tinham permitido a primeira transmissão segura de voz através do Atlântico, ininteligível para os abelhudos alemães). Porém, Bell era a base de outro gênio, Claude Shannon, que iria fundar a influente disciplina da teoria da informação, e cujo trabalho explorava as fronteiras entre o ruído e a informação. Shannon estava particularmente intrigado com a possibilidade de máquinas detectarem e ampliarem padrões de informação em canais de comunicação cheios de ruído — uma linha de pesquisa que prometia óbvias vantagens para uma companhia telefônica, mas que também poderia salvar milhares de vidas em um esforço de guerra que dependia da transmissão e da quebra de códigos. Shannon e Turing imediatamente perceberam que estavam trabalhando em trilhas paralelas: na ocasião, ambos tinham como profissão quebrar códigos e, em suas tentativas de construir máquinas automáticas que pudessem reconhecer padrões em sinais de áudio ou seqüências numéricas, ambos tinham vislumbrado um futuro lotado de máquinas ainda mais inteligentes. Shannon e Turing passaram muitas horas

nos Laboratórios Bell, trocando idéias sobre um “cérebro eletrônico” que poderia ser capaz de feitos humanos como o reconhecimento de padrões.

Turing tinha imaginado sua máquina de pensar primeiramente em termos de possibilidades lógicas, da capacidade de executar uma variedade infinita de rotinas computacionais. Mas Shannon o levou a pensar na máquina como algo mais próximo do cérebro humano real, capaz de reconhecer padrões mais matizados. Um dia, durante o almoço no laboratório, Turing exclamou para os amigos, brincando: “Shannon não quer colocar apenas dados no cérebro, mas coisas *culturais*! Ele quer tocar música para a máquina!” Notas musicais também são padrões, reconhecia Shannon, e, se pudessemos treinar um cérebro eletrônico para entender e reagir a padrões lógicos de zeros e uns, então talvez no futuro pudessemos treinar nossas máquinas para apreciar os padrões equivalentes de arpejos e progressões de cordas. A idéia parecia fantástica na época — já era difícil fazer uma máquina efetuar uma divisão longa, imagine apreciar a Nona Sinfonia de Beethoven. Contudo, o reconhecimento de padrões que Turing e Shannon vislumbraram para computadores digitais tornou-se nos últimos anos uma parte central de nossa vida cultural, pois temos máquinas que produzem música para nosso deleite ou que nos recomendam novos artistas. A ligação entre padrões musicais e nossas conexões neuronais teria um papel central em um dos principais textos da moderna inteligência artificial, o livro *Gödel, Escher, Bach*, de Douglas Hofstadter. Nossos computadores ainda não desenvolveram um genuíno ouvido para música mas, se algum dia fizerem isso, essa habilidade terá começado nas conversas de almoço de Turing e Shannon nos Laboratórios Bell. E a aprendizagem também será um tipo de emergência, uma ordem de alto nível, formando-se a partir de componentes relativamente simples.

Cinco anos após suas interações com Turing, Shannon publicou um longo ensaio no *Bell System Technical Journal* que rapidamente foi relançado como livro, com o título *A teoria matemática da comunicação*. Denso, com equações e títulos misteriosos de capítulos, tais como “Sistemas discretos silenciosos”, o livro se tornou um clássico e a disciplina que gerou — a teoria da informação — teve profundo impacto nas pesquisas científicas e tecnológicas que se seguiram, tanto no nível teórico quanto no prático. *A teoria matemática da comunicação* continha uma elegante introdução, em linguagem para leigos, à teoria de Shannon, escrita pelo respeitado cientista Warren Weaver que, desde o começo, havia percebido a relevância do trabalho de Shannon. Weaver ocupara um cargo importante na divisão de Ciências Naturais da Fundação Rockefeller desde 1932 e, quando se aposentou, no final da década de 1950, preparou um extenso relatório para a fundação, lembrando os progressos científicos atingidos durante o último quarto de século. A ocasião

sugeria uma retrospectiva reflexiva, mas o documento que Weaver produziu (baseado em artigo que escrevera para a revista *American Scientist*) era mais profético, olhava mais para a frente. Em muitos aspectos, merece ser visto como o texto fundador da teoria da complexidade — o momento em que os estudos sobre sistemas complexos começaram a se ver como um campo unificado. Utilizando pesquisas em biologia molecular, genética, física, ciência da computação e a teoria da informação de Shannon, Weaver dividiu os últimos séculos de pesquisa científica em três amplos campos. Primeiro, o estudo dos sistemas simples: problemas com duas ou três variáveis, como a rotação dos planetas ou a conexão entre uma corrente elétrica e sua voltagem e resistência. Segundo, problemas de “complexidade desorganizada”, caracterizados por milhões ou bilhões de variáveis que somente podem ser abordados por métodos de mecânica estatística e teoria da probabilidade. Essas ferramentas ajudaram a explicar não só o comportamento das moléculas em um gás, ou os modelos de hereditariedade em uma combinação de genes, como também auxiliaram as companhias de seguros de vida a obter lucro a despeito das limitações de seu conhecimento sobre a saúde futura de qualquer indivíduo. Graças ao trabalho de Claude Shannon, a abordagem estatística também ajudou as empresas de telefonia a fornecer serviços mais confiáveis e inteligíveis.

Mas havia uma terceira fase nesse avanço, que estávamos apenas começando a compreender. “O método estatístico de lidar com a complexidade desorganizada, um progresso tão poderoso em relação aos primeiros métodos de duas variáveis, deixa um grande campo intocado”, escreveu Weaver. Havia uma região intermediária entre as equações de duas variáveis e os problemas envolvendo bilhões de variáveis. Convencionalmente, essa região envolvia um número “moderado” de variáveis, mas o tamanho do sistema era, na verdade, uma característica secundária:

Muito mais importante do que meramente o número de variáveis é o fato de que todas essas variáveis estão inter-relacionadas... Esses problemas, quando contrastados com situações desorganizadas das quais as estatísticas podem dar conta, *mostram o aspecto essencial de organização*. Vamos, portanto, nos referir a esse grupo de problemas como de *complexidade organizada*.

Podemos pensar nessas três categorias de problemas em termos da analogia com a mesa de sinuca mencionada na Introdução. Um problema com duas ou três variáveis poderia ser uma mesa de sinuca comum, com bolas batendo umas nas outras de acordo com regras simples: suas velocidades, o atrito com a mesa. Esse seria um exemplo de um “sistema simples” — e, sem dúvida, bolas de sinuca são freqüentemente utilizadas para ilustrar leis básicas

da física em livros didáticos. Um sistema de complexidade desorganizada seria essa mesma mesa ampliada para incluir um milhão de bolas, colidindo umas com as outras milhões de vezes por segundo. Fazer prognósticos sobre o comportamento de alguma bola individualmente seria difícil, mas poderíamos fazer algumas previsões exatas sobre o comportamento global da mesa. Assumindo que há energia suficiente no sistema no início, as bolas irão se espalhar, preenchendo a mesa inteira, como moléculas de gás em um recipiente. É complexo porque há muitos agentes se inter-relacionando, mas é desorganizado porque eles não criam qualquer comportamento de nível superior, além de amplas tendências estatísticas. A complexidade organizada, por outro lado, é como uma mesa de sinuca motorizada, onde as bolas seguem regras específicas e, através de suas interações, criam um distinto macrocomportamento, arrumando-se de forma específica ou, com o tempo, formando um padrão específico. Esse tipo de comportamento, para Weaver, sugere um problema de complexidade organizada, um problema que parece onipresente na natureza quando você começa a procurá-lo:

O que faz uma primula noturna se abrir num dado momento? Por que água salgada não mata a sede? ... Qual é a descrição de envelhecimento em termos bioquímicos? ... O que é um gene, e como a constituição genética original de um organismo vivo se expressa nas características desenvolvidas do adulto?

Sem dúvida, todos são problemas complexos, mas não devido à complexidade desorganizada, para a qual métodos estatísticos têm a solução. São problemas que envolvem a manipulação simultânea de um determinado número de fatores que se inter-relacionam, formando um todo orgânico.

Tentar resolver esses problemas exigia uma nova abordagem: “As grandes questões centrais da biologia ... estão agora sendo abordadas não somente de cima, com a visão ampla do filósofo da natureza, que esquadrinha todo o mundo dos seres vivos, mas também de baixo, pelo analista quantitativo que mede os fatos sob a superfície.” Essa era uma mudança genuína no paradigma da pesquisa, para usar a linguagem de Thomas Kuhn — uma revolução não tanto nas interpretações que a ciência construiu em sua tentativa de explicar o mundo, mas principalmente nos tipos de perguntas feitas. Weaver reconheceu que esta mudança de paradigma era mais do que uma nova atitude mental: era também um subproduto de novas ferramentas que estavam aparecendo no horizonte. Para resolver os problemas da complexidade organizada, precisava-se de uma máquina capaz de processar milhares, senão milhões, de cálculos por segundo — uma tarefa inimaginável para cérebros individuais operando números com as limitadas calculadoras dos últimos séculos. Devido a essa

conexão com o grupo dos Laboratórios Bell, Weaver cedo percebeu as promessas da computação digital; ele sabia que os mistérios da complexidade organizada seriam muito mais fáceis de manipular se fosse possível modelar o comportamento em tempo quase real. Durante milênios, os seres humanos usaram suas habilidades de observação e classificação para documentar a sutil anatomia das flores, mas pela primeira vez firmavam-se em uma posição que os deixava prestes a responder a uma questão mais fundamental, uma questão que tinha mais a ver com padrões desenvolvendo-se no tempo do que com a estrutura estática: Por que uma flor se abre em determinado momento? E como uma simples semente sabe, antes de mais nada, fazer essa flor?

Alan Turing teve um papel essencial na criação do hardware e do software que potencializaram essa primeira revolução digital, e seu trabalho sobre morfogênese foi uma das primeiras tentativas sistemáticas de conceber o desenvolvimento como um problema de complexidade organizada. É uma das maiores tragédias dessa história o fato de que Turing não tenha vivido para ver o extraordinário florescimento intelectual que aconteceu quando estes dois caminhos se cruzaram — e para participar dele.

Por ironia, a abordagem de Warren Weaver gerou o primeiro avanço importante em um trabalho que não tinha relação com computadores digitais — um trabalho que pertencia a um campo nem sempre considerado como parte das ciências “duras”. Nos anos pós-guerra, os planejadores urbanos e as autoridades do governo lidavam com o problema das favelas nas cidades com uma abordagem decididamente de cima para baixo, top-down: destruíam bairros inteiros e construía frios conjuntos habitacionais, cercados por áreas de lazer e jardins logo negligenciados. Esses projetos efetivamente tentavam resolver o problema das ruas perigosas das cidades pela pura e simples eliminação das ruas; mas, ao mesmo tempo que os apartamentos nesses novos edifícios geralmente traziam uma melhoria em termos de espaço para moradia e em infraestrutura, o ambiente global dos projetos deteriorava-se rapidamente, transformando-se em uma zona de guerra anônima que contribuía para o aumento da taxa de criminalidade e para a destruição do sentimento de camaradagem antes existente.

Em outubro de 1961, a Comissão de Planejamento da Cidade de Nova York declarou que uma grande área do histórico bairro de West Village “se caracterizava pela deterioração, prestando-se apenas à demolição e posterior replanejamento, reconstrução ou reabilitação.” A comunidade do Village — uma viva mistura de artistas, escritores, imigrantes porto-riquenhos e operários italo-americanos — sentiu-se ultrajada, e no centro dos protestos estava

uma apaixonada crítica das questões urbanas chamada Jane Jacobs. Ela acabara de liderar com sucesso uma campanha para impedir o plano do incorporador de projetos urbanos Robert Moses de construir uma supervia atravessando o coração do SoHo. Jacobs agora se posicionava contra a loucura desses projetos (a “reabilitação” incluía a própria residência de Jacobs na rua Hudson). Em sua corajosa e finalmente triunfante campanha para impedir a aniquilação do West Village, argumentava que a maneira para melhorar as ruas da cidade e restaurar a civilidade dinâmica da vida urbana não era destruir as zonas problemáticas, mas sim olhar para as ruas da cidade que eram boas e aprender com elas. Quando estava escrevendo o texto que se tornaria *Morte e vida das grandes cidades* — publicado pouco depois do episódio do Village —, Jacobs leu o ensaio de Weaver para a Fundação Rockefeller e imediatamente reconheceu a sua própria agenda no apelo que ele fazia em favor da exploração dos problemas da complexidade organizada.

Sob a aparente desordem da velha cidade existe, onde quer que a velha cidade funcione com sucesso, uma maravilhosa ordem que mantém a segurança das ruas e a liberdade da cidade. É uma ordem complexa. Sua essência é a intimidade do uso da calçada, trazendo consigo uma constante sucessão de olhos. Esta ordem é toda composta de movimento e mudança e, apesar de ser vida, e não arte, podemos fantasiosamente chamá-la de arte da cidade e ligá-la à dança — não uma dança simplista e precisa em que todos pulam ao mesmo tempo, girando em uníssono e agradecendo, fazendo reverências em massa, mas um intrincado balé no qual os dançarinos solistas e os conjuntos têm, todos eles, papéis específicos que milagrosamente reforçam-se mutuamente e compõem uma unidade ordenada.

Jacobs deu ao capítulo final de *Morte e vida* o memorável título de “O tipo de problema que uma cidade é”, e o iniciou citando longos trechos do ensaio de Weaver. O funcionamento de uma cidade, argumentava Jacobs, só pode ser compreendido com uma abordagem a partir de suas ruas. “Em partes da cidade que funcionam bem sob certos aspectos e mal em outros (como costuma acontecer), não podemos sequer analisar as virtudes e as falhas, diagnosticar as dificuldades ou considerar as mudanças favoráveis, sem considerar essas partes problemas de complexidade organizada,” escreveu. “Podemos desejar análises gerais, mais fáceis, e soluções gerais, mágicas, mas desejos não podem transformar esses problemas em questões mais simples do que a complexidade organizada, por mais que se tente escapar das realidades e tratá-las como algo diferente.” Para entender a complexa ordem da cidade, é necessário compreender esse balé em mutação constante; nas ruas que perderam seu equilí-

brio, o problema não pode ser resolvido simplesmente com uma ordem para arrasar bairros inteiros.

O livro de Jacobs revolucionaria a maneira como imaginamos as cidades. Partindo das percepções de Weaver, ela transmitiu uma visão da cidade como uma entidade maior do que a soma de seus residentes — mais semelhante a um organismo vivo, capaz de se adaptar a mudanças. “Cidades com vitalidade têm maravilhosas e inatas habilidades para compreender, comunicar, arquitetar e inventar o que for preciso para combater suas dificuldades,” escreveu. Elas recebem sua ordem a partir de baixo; são máquinas de aprendizado, reconhecedoras de padrões — mesmo quando os padrões a que reagem são insalubres. Um século depois que Engels entreviu o ato sistemático de ocultamento da população pobre de Manchester, a cidade que se auto-organiza finalmente mostrou sua cara.

A “complexidade organizada” demonstrou ser um modo construtivo de reflexão sobre a vida urbana, mas o livro de Jacobs era uma obra de teoria social, não de ciência. Seria possível modelar e explicar o comportamento de sistemas de auto-organização usando métodos mais rigorosos? A tecnologia de computação digital, em expansão, poderia ser aplicada com proveito a esse problema? Graças em parte ao trabalho de Shannon no fim da década de 1940, as ciências biológicas tinham conseguido um número significativo de progressos na compreensão do reconhecimento de padrões e de feedback na época em que Jacobs publicou sua obra-prima. Logo depois de sua nomeação para a universidade de Harvard em 1956, o entomologista Edward O. Wilson comprovou convincentemente que as formigas se comunicavam entre si — e coordenavam todo o comportamento da colônia — pelo reconhecimento de padrões de trilhas de feromônio deixadas por outras formigas, como acontece com o mixomiceto e os sinais do AMP cíclico. Na Universidade Livre de Bruxelas, na década de 1950, Ilya Prigogine fazia firmes progressos na compreensão da termodinâmica do não-equilíbrio — ambientes nos quais as leis de entropia ficam temporariamente superadas e onde ordens de nível superior podem emergir espontaneamente do caos subjacente. E no Laboratório Lincoln, do MIT, um pesquisador de vinte e cinco anos de idade, chamado Oliver Selfridge, estava fazendo experiências com um modelo para ensinar um computador a aprender.

Há um mundo de diferenças entre um computador que recebe passivamente a informação dada e um computador que aprende ativamente por si mesmo. Os computadores de primeira geração, como os ENIAC, processavam informações alimentadas por seus usuários e eram capazes de fazer vários cálculos com elas, baseados em conjuntos de instruções neles programados.

Tratava-se de um progresso surpreendente em uma época em que “computador” significava uma pessoa munida de régua de cálculo e borracha. Mas mesmo naqueles dias distantes, os visionários digitais já imaginavam uma máquina capaz de aprendizado ilimitado. Turing e Shannon haviam questionado os futuros gostos musicais do “cérebro eletrônico” durante os almoços nos Laboratórios Bell, enquanto seu colega Norbert Wiener, havia escrito um livro de louvor — que se tornaria um bestseller — aos poderes auto-reguladores do feedback, em seu manifesto *Cybernetics*, de 1949.

“Minha participação em tudo isto foi, principalmente, uma questão de sorte,” diz Selfridge hoje, sentado em seu confinado escritório sem janelas no MIT. Nascido na Inglaterra, Selfridge entrou para Harvard com quinze anos de idade e começou seu doutorado três anos depois no MIT, onde Norbert Wiener foi seu orientador de tese. Precocemente, aos 21 anos, Selfridge sugeriu algumas correções em um texto que seu mentor havia publicado sobre palpitações cardíacas, correções que Wiener afavelmente admitiu nas páginas iniciais de *Cybernetics*. “Acho que agora tenho a honra de ser uma das poucas pessoas mencionadas naquele livro que continuam vivas”, diz Selfridge rindo.

Depois de trabalhar algum tempo em projetos de controle militar em Nova Jersey, Selfridge retornou ao MIT em meados da década de 1950. Seu retorno coincidiu com uma explosão de interesse sobre inteligência artificial, uma área de pesquisas que o fez conhecer Marvin Minsky, na época pesquisador júnior em Harvard. “Meu interesse em inteligência artificial”, diz hoje Selfridge, “era não tanto sobre o processamento em si, mas sobre como os sistemas se modificam, como evoluem — em uma palavra, como eles aprendem.” A exploração das possibilidades de aprendizado de uma máquina fez Selfridge lembrar a sua própria educação na Inglaterra. “Na escola, na Inglaterra, eu li *O paraíso perdido* de John Milton”, diz ele, “e fiquei chocado com a imagem do Pandemônio — palavra grega para ‘todos os demônios’. Depois que meu segundo filho, Peter, nasceu, reli *O paraíso perdido* e as risadas estridentes dos demônios despertaram algo em mim.” O reconhecedor de padrões no cérebro de Selfridge mostrava-lhe um caminho para ensinar um computador a reconhecer padrões.

“Propomos aqui o modelo de um processo que afirmamos ser capaz de adaptar-se e auto-aperfeiçoar-se para manipular alguns problemas de reconhecimento de padrões que não possam ser adequadamente determinados por antecipação.” Essas foram as primeiras palavras de Selfridge em um simpósio, no fim de 1958, no mesmo Laboratório Nacional de Física do qual Turing escapara uma década antes. A apresentação de Selfridge teve o memorável título de “Pandemônio: Um Paradigma para Aprendizagem” e, embora tenha causado pouco impacto fora da nascente comunidade da informática, as

idéias por ele esboçadas então acabaram por se tornar parte do nosso dia-a-dia — cada vez que entramos com um nome em nossos Palm Pilots ou usamos um software de reconhecimento de voz para obter informação via telefone. O Pandemônio, como Selfridge descreveu em sua palestra, não era somente um software específico, mas sim um modo de abordar um problema. O problema era bastante ambicioso, dados os limitados recursos computacionais da época: como ensinar um computador a reconhecer padrões mal definidos ou inconstantes, tais como o som das ondas emitidas pela linguagem falada.

O brilho do novo paradigma de Selfridge estava no fato de que ele se baseava em uma inteligência distribuída, bottom-up, e não em uma inteligência unificada, top-down. Mais do que construir um programa único e engenhoso, Selfridge criou uma quantidade de miniprogramas limitados, aos quais chamou demônios. “A idéia era a seguinte: termos uma porção desses demônios gritando ao longo de uma hierarquia,” explica. “Demônios de nível inferior gritando para os de nível acima, que gritam para os de nível ainda mais alto.”

Para entender o que “guitar” significa, imagine um sistema com 26 demônios separados, cada um treinado para reconhecer uma letra do alfabeto. Uma série de palavras é mostrada ao conjunto dos demônios e cada um “vota” em cada letra apresentada que representa a sua letra escolhida. Se a primeira letra é *a*, o demônio que reconhece *a* informa que é bastante provável que ele tenha reconhecido uma letra igual. Devido à similaridade de formato, o reconhecedor de *o* talvez possa ficar em dúvida, enquanto o reconhecedor de *b* irá declarar enfaticamente que a letra *a* é ininteligível para ele. Todos os demônios reconhecedores de letras se reportam a um demônio-chefe, que contabilizará os votos em cada letra e escolherá o demônio mais confiável. Em seguida, o programa se move para a letra seguinte na seqüência e o processo recomeça. No fim da transmissão, o demônio chefe terá uma interpretação funcional do texto transmitido, baseado nos votos dados pela democracia demoníaca.

Obviamente, a exatidão da interpretação depende do apuro dos reconhecedores de letras. Se você está tentando ensinar um computador a ler, é enganoso supor desde o início que seja possível encontrar 26 competentes reconhecedores de letras. Selfridge estava atrás de um objetivo maior: para início de conversa, como se ensina uma máquina a reconhecer letras — ou sons de vogais, acordes musicais, impressões digitais? A resposta supõe o acréscimo de mais uma camada de demônios e um mecanismo de feedback por meio do qual as várias avaliações possam ser graduadas. Esse nível mais baixo foi preenchido com miniprogramas ainda menos sofisticados, instruídos para reconhecer somente formas físicas brutas (ou sons, no caso do código Morse

ou da linguagem falada). Alguns demônios reconheciam linhas paralelas, outros perpendiculares. Alguns procuravam círculos, outros pontos. Nenhuma dessas formas era associada com qualquer letra; os demônios inferiores eram como crianças de dois anos de idade — capazes de reconhecer as formas que viam, mas não de percebê-las como letras ou palavras.

Utilizando esses demônios minimamente equipados, o sistema podia ser instruído a reconhecer letras, sem “saber” previamente nada sobre o alfabeto. A receita era relativamente simples: apresente-se a letra *b* para os demônios de nível inferior e veja-se quais respondem e quais não respondem. No caso da letra *b*, tanto os reconhecedores de linhas verticais como os de círculos poderiam assinalá-la. Esses demônios de nível inferior se reportariam a um reconhecedor de letras em um nível acima na cadeia. Baseado na informação recolhida por seus assistentes, este reconhecedor faria uma hipótese sobre a identidade da letra. Essas hipóteses são então “graduadas” pelo software. Se a conjuntura estiver errada, o software aprende a afastar estes assistentes específicos da letra em análise; se a hipótese estiver certa, ele “reforça” a conexão entre os assistentes e a letra.

No princípio, os resultados ficam próximos do acaso mas, se o processo é repetido mil vezes, ou dez mil, o sistema aprende a associar conjuntos específicos de reconhecedores de formas com letras específicas e em seguida é capaz de traduzir seqüências inteiras com notável precisão. O sistema não vem com qualquer concepção predefinida sobre as formas das letras — treina-se o sistema para associar letras com formas específicas na fase de gradação (por causa disso, um software que reconhece texto escrito à mão pode ser ajustado a muitos tipos de escrita, mas *não pode* adaptar-se a escritas que mudem diariamente). Essa mistura de atos iniciais arbitrários organizando-se para chegar a resultados mais complicados fez Selfridge lembrar-se de outro processo, cujo próprio código interno acabara de ser decifrado sob a forma de DNA. “O esquema esboçado é, na verdade, uma seleção natural dos demônios processadores,” explicou Selfridge. “Se eles servem a uma função útil, sobrevivem, e talvez sejam mesmo a fonte para outros subdemônios que serão julgados por seus próprios méritos. É perfeitamente razoável conceber isso acontecendo em escala maior ... em vez de apenas um Pandemônio, teríamos uma multidão deles, todos construídos de forma semelhante e empregando a seleção natural à sua totalidade.”

O sistema descrito por Selfridge — com sua aprendizagem bottom-up e seus círculos de feedback de avaliação — aparece nos livros de história como a primeira descrição prática de um programa de software emergente. Atualmente o mundo fervilha com milhões de seus demônios.

No final da década de 1940, havia no MIT um estudante nativo do Meio-Oeste, chamado John Holland. Holland também era aluno de Norbert Wiener e havia gasto um bom tempo, durante o seu período de graduação, em protótipos dos primeiros computadores construídos em Cambridge naquela época. Sua extraordinária habilidade em programação de computadores levou a IBM a contratá-lo na década de 1950 para ajudar a desenvolver sua primeira calculadora comercial, a 701. Como aluno de Wiener, ele estava naturalmente inclinado a experimentar caminhos para fazer com que a lenta máquina 701 aprendesse de modo mais orgânico, bottom-up — não diferente do Pandemônio de Selfridge. Na realidade, Holland e um grupo de colegas que pensavam de forma semelhante programaram uma simulação tosca de neurônios interagindo. No entanto, na época, a IBM era uma empresa que vendia máquinas de calcular e, por conseguinte, o trabalho de Holland foi totalmente ignorado e engavetado. Após alguns anos, Holland retornou à vida acadêmica para obter seu doutorado na Universidade de Michigan, onde o Grupo de Lógica de Computadores acabara de ser formado.

Na década de 1960, depois de graduar-se como o primeiro doutor em Ciência da Computação no país, Holland iniciou uma linha de pesquisa que iria dominar seu trabalho para o resto da vida. Como Turing, Holland queria explorar o modo pelo qual regras simples podiam levar a comportamentos complexos; como Selfridge, ele queria criar um software que fosse capaz de aprendizado ilimitado. O maior avanço de Holland foi controlar o poder de outro sistema aberto e bottom-up: a seleção natural. Construindo sobre o modelo do Pandemônio de Selfridge, Holland tomou a lógica da evolução darwiniana e transformou-a em um código. Ele chamou sua nova criação de algoritmo genético.

Um programa tradicional compõe-se de uma série de instruções que dizem ao computador o que fazer: pintar a tela com pixels vermelhos, multiplicar um conjunto de números, apagar um arquivo. Normalmente, essas instruções são codificadas como séries de caminhos que se bifurcam: faça primeiro isto; se obtiver o resultado A, faça uma dada coisa; se obtiver B, faça outra coisa. A arte da programação baseia-se na construção de uma seqüência de instruções mais eficiente, a seqüência que fará o maior número de operações com a menor quantidade de códigos — e com a menor probabilidade de erro. Em geral, isto era feito usando-se o potencial mais primitivo do cérebro do programador. Você pensava sobre um problema, esboçava a melhor solução, alimentava o computador com ela, avaliava seu sucesso, e então tratava de aperfeiçoá-la. Mas Holland imaginou outra abordagem: coloque um conjunto de genes de software possível e deixe que programas bem-sucedidos evoluam dessa sopa.

O sistema de Holland refletia uma série de paralelismos entre os programas de computador e as formas de vida na terra. Cada um depende de um código-mestre para sua existência: os zeros e uns da programação dos computadores e as espirais de DNA escondidas em todas as nossas células (normalmente chamadas de genótipo). Esses dois tipos de códigos ditam algum tipo de forma ou comportamento de nível superior (o fenótipo): crescimento de cabelo vermelho ou a multiplicação de dois números juntos. Com os organismos de base em DNA, a seleção natural funciona criando um conjunto maciço de variação genética e, depois, avaliando a taxa de sucesso dos variados comportamentos desencadeados por todos esses genes. As variações que obtêm sucesso são passadas para as novas gerações, as outras desaparecem. A reprodução sexual garante que as novas combinações de genes se encontrem. Ocasionalmente, mutações acidentais ocorrem no conjunto de genes, introduzindo avenidas completamente novas para o sistema explorar. Se um número considerável de ciclos for percorrido, surgirá uma receita para construir obras-primas, tais como o olho humano — sem um legítimo engenheiro à vista.

O algoritmo genético foi uma tentativa de captar esse processo em silício. O software já possuía um genótipo e um fenótipo, reconheceu Holland; existe o código em si, e também o que o código *faz*. O que aconteceria se fosse criado um conjunto de combinações diferentes de códigos e depois avaliada a taxa de sucesso de fenótipos, eliminando-se os ramos de menor sucesso? A seleção natural baseia-se em um critério extremamente simples e brilhante, mas de certa forma tautológico, para avaliar o sucesso: seus genes passarão para a geração seguinte se você sobreviver suficientemente para produzir uma nova geração. Holland decidiu tornar o passo da avaliação mais preciso: os programas seriam admitidos para a próxima geração se fizessem um trabalho melhor ao concluir uma tarefa específica — digamos, fazer cálculos simples ou reconhecer padrões visuais. O programador poderia decidir qual era a tarefa; mas não podia instruir diretamente o software sobre como realizá-la. Ele daria os parâmetros que definiriam a adequação genética, depois deixaria o software se virar sozinho.

Holland desenvolveu suas idéias nas décadas de 1960 e 1970 usando principalmente lápis e papel — mesmo a mais avançada tecnologia daquela época era muito lenta para atravessar milhares de gerações. Porém os enormes computadores paralelos de alta velocidade desenvolvidos na década de 1980 — como a Máquina de Conexões de Danny Hillis — foram ideais para explorar as possibilidades do algoritmo genético. E um dos mais impressionantes sistemas GA (*genetic algorithm*) projetados para a Máquina de Conexões focalizava exclusivamente a simulação do comportamento das formigas.

Era um programa chamado de Tracker (Rastreador), idealizado em meados dos anos oitenta por dois professores da UCLA, David Jefferson e Chuck Taylor (Jefferson era do departamento de ciências de computação, enquanto que Taylor era biólogo). Jefferson conta: “Eu tive a idéia na leitura do primeiro livro de Richard Dawkin, *O gene egoísta*. Aquele livro realmente me transformou. Ele levanta a tese de que, para vermos a evolução darwiniana em ação, precisamos apenas de objetos capazes de se reproduzir, e de se reproduzir de modo imperfeito, além de algum tipo de limitação de recursos para que haja competição. E nada mais importa — basta um axioma muito pequeno, abstrato, para fazer a evolução funcionar. E então me ocorreu que os programas têm essa propriedade — programas podem se reproduzir. Só que eles normalmente se reproduzem *com exatidão*. Mas pensei que, se houvesse um meio de se reproduzirem imperfeitamente, e se não houvesse somente um programa mas uma certa quantidade deles, poderíamos simular a evolução com o software, em lugar de organismos.”

Após alguns experimentos em pequena escala, Jefferson e Taylor decidiram simular o comportamento de formigas aprendendo a seguir uma trilha de feromônio. “Formigas estavam na minha mente — eu estava procurando por criaturas simples, e o trabalho sobre formigas de E.O. Wilson tinha acabado de sair”, explica Jefferson. “O que realmente procurávamos era uma tarefa simples que criaturas simples realizam, mas cuja programação não era óbvia. Acabamos tendo a idéia de seguir uma trilha — e não só uma trilha limpa, mas uma trilha barulhenta, uma trilha interrompida.” Os dois cientistas criaram uma grade virtual de quadrados, desenhando sobre ela um caminho em forma de meandro com 82 quadrados. O objetivo era desenvolver um programa simples e uma formiga virtual que pudesse trilhar toda a extensão em um tempo definido, usando somente informação limitada sobre as voltas e curvas do caminho. Em cada ciclo, uma formiga tinha a opção de “farejar” o quadrado à sua frente, avançando para o próximo ou dobrando à direita ou à esquerda 90 graus. Jefferson e Taylor deram a suas formigas 100 ciclos para trilhar o caminho; cada vez que uma formiga usava seus 100 ciclos, o software calculava o número de quadrados da trilha que ela havia atingido com sucesso e dava uma pontuação. Uma formiga que se perdesse após o primeiro quadrado, teria a nota 1; uma formiga que completasse a trilha com sucesso antes do final dos 100 quadrados, teria a nota máxima, 82.

O sistema de notas permitiu a Jefferson e Taylor criarem critérios de aptidão que determinavam quais as formigas que tinham permissão para se reproduzir. O programa Tracker começou simulando 16 mil formigas — uma para cada processador da Máquina de Conexões — com cerca de 16 mil estratégias aleatórias para trilhar o caminho. Uma formiga podia começar com a estraté-

gia de andar direto à frente; outra poderia desviar para frente e para trás entre farejos e rotações de 90 graus; uma terceira poderia seguir regras mais rebuscadas. A grande maioria dessas estratégias acabaria em completo fracasso, mas algumas conseguiriam percorrer uma porção maior da grade. Essas formigas mais bem-sucedidas teriam permissão para se acasalar e se reproduzir, criando uma nova geração de 16 mil formigas prontas a enfrentar a trilha.

A trilha — apelidada de Trilha John Muir em homenagem ao famoso ambientalista — começava com um trecho relativamente reto, com várias viradas à direita seguidas de mais trechos retos, e rapidamente tornava-se cada vez mais complicada. Hoje, Jefferson diz que projetou o Tracker daquele modo porque ficou preocupado que as primeiras gerações fossem tão incompetentes que um trecho mais difícil as confundisse. “É bom lembrar que, quando começamos a experiência, não tínhamos idéia se uma população de 16.600 era um número apropriado para facilitar uma evolução darwiniana”, explica. “E eu não sabia se eram necessárias dez, cem ou dez mil gerações. Não havia teoria para nos orientar quantitativamente sobre o tamanho da população no espaço e a extensão do experimento no tempo.”

Passar por cem gerações levou cerca de duas horas; Jefferson e Taylor montaram o sistema de modo a receber atualizações em tempo real sobre as formigas mais talentosas de cada geração. Como um registrador de estoques, a Máquina de Conexões fornecia um número atualizado no fim de cada geração: se o melhor seguidor de trilha de uma geração conseguia alcançar 15 quadrados em 100 ciclos, a Máquina de Conexões apontava 15 como o recorde atual e então se direcionava para a geração seguinte. Após alguns começos problemáticos causados por bugs, Jefferson e Taylor conseguiram que o sistema Tracker funcionasse — e os resultados excederam às expectativas mais otimistas.

“Para nosso espanto e total alegria”, recorda-se Jefferson, “a coisa funcionou na primeira vez. Nós ficamos lá, sentados, vendo os números aparecerem: uma geração produzia 25, depois 25 de novo, depois 27, a seguir 30. No final vimos um escore perfeito, logo após uma centena de gerações. Foi um assombro.” O software fizera evoluir uma população inteira de peritos seguidores de trilha, apesar de Jefferson e Taylor não terem dotado a primeira geração de formigas de qualquer habilidade específica. Em vez de projetar uma solução para o problema de seguir trilhas, os dois professores da UCLA haviam feito surgir uma solução; haviam criado um grupo de programas possíveis, depois construído um mecanismo de feedback que permitia o surgimento de programas cada vez melhores. De fato, o sucesso dos programas foi tão grande, que eles criaram soluções específicas para seus ambientes. Quando Jefferson e Taylor “dissecaram” uma das formigas campeãs no final, para ver que estraté-

gias de seguimento de trilhas ela tinha desenvolvido, descobriram que o software tinha evoluído no sentido de preferir dobrar à direita, em resposta às três viradas iniciais à direita que Jefferson contruíra na trilha John Muir. Era como observar um organismo que vive na água desenvolver guelras: mesmo na toska e abstrata grade do Tracker, as formigas virtuais desenvolveram uma estratégia de sobrevivência que era adaptada somente a seu meio ambiente.

De qualquer ponto de vista, o Tracker foi um autêntico desbravador. Finalmente, as ferramentas da computação moderna tinham atingido o ponto em que se podia simular inteligência emergente e ver seu desdobramento na tela em tempo real, como Turing, Selfridge e Shannon sonharam anos antes. E, por feliz coincidência, Jefferson e Taylor escolheram para suas simulações justamente o organismo mais celebrado por seu comportamento emergente: a formiga. Naturalmente, eles partiram da mais elementar forma de inteligência de formiga — cheirar trilhas de feromônio —, mas as possibilidades sugeridas pelo sucesso do Tracker eram infinitas. As ferramentas de software emergente tinham sido controladas para modelar e compreender a evolução da inteligência emergente em organismos do mundo real. De fato, ao ver essas formigas virtuais evoluírem na tela do computador, aprendendo e adaptando-se a seus ambientes sem interferências, não podemos deixar de imaginar que a fronteira entre o real e o virtual está se tornando cada vez mais imprecisa.

Na simulação em computador do comportamento do *Dictyostelium discoideum* de Mitch Resnick, havia duas variáveis-chave, dois elementos que podem ser alterados durante a interação com a simulação. O primeiro é o número de células de *Dictyostelium discoideum* no sistema; o segundo é a extensão física e temporal da trilha de feromônio deixada por cada célula que rasteja na tela (é possível ter longas trilhas que levam minutos para se dissipar, ou outras menores que desaparecem em segundos.) Uma vez que as células de *discoideum* decidem coletivamente se agregar, baseadas em seus encontros com as trilhas de feromônio, a alteração dessas duas variáveis pode trazer um grande impacto no comportamento simulado do sistema. Mantenha trilhas pequenas e poucas células, e os organismos se negam a caminhar juntos. A tela parecerá uma galáxia de estrelas cadentes, sem a emergência de formas maiores. Mas mude a duração das trilhas e o número de agentes e, em um determinado ponto claramente definido, um aglomerado de células de repente se formará. O sistema entrou em uma fase de transição, movendo-se de um estado distinto para outro, baseado na “complexidade organizada” das células do tal organismo. Isso não é gradual, mas repentino, como se um interruptor tivesse sido ligado. Mas não há interruptores, nem líderes — somente um conjunto de

células isoladas colidindo umas com outras e deixando para trás suas pegadas de feromônio.

Geralmente, as histórias de desenvolvimento intelectual — a origem e a divulgação de novas idéias — vêm em dois tipos de pacotes: ou a teoria do “grande homem”, na qual um gênio tem um lampejo de inspiração no laboratório ou na biblioteca e o mundo imediatamente se transforma; ou a teoria de “mudança do paradigma”, na qual os ocupantes das cátedras de ciências acordam para encontrar acima deles um novo andar construído, onde todos estarão trabalhando dentro de poucos anos. Ambas as teorias são inadequadas: a história do grande homem ignora os esforços dispersos, comunitários, que participam de todo importante avanço intelectual, e o modelo de mudança de paradigma tem dificuldades para explicar como o novo andar, na realidade, foi construído. Suspeito que a simulação de *Dictyostelium discoideum* de Mitch Resnik seja uma metáfora melhor para os caminhos que as idéias revolucionárias percorrem: pense nessas células como investigadores no campo; pense nessas trilhas como um tipo de memória institucional. Quando são apenas poucos os cérebros explorando determinado problema, as células permanecem desconectadas, serpenteando na tela como células isoladas, cada uma seguindo seu curso aleatório. Nas trilhas de feromônio que evaporam rapidamente, as células não deixam traço de seu progresso — como um ensaio publicado em um jornal, mas que fica durante anos na prateleira de uma biblioteca sem ser lido. Contudo, conecte o maior número de mentes ao sistema e forneça uma trilha maior, mais durável — publicando suas idéias em livros de grande vendagem ou fundando centros de pesquisa para explorar essas idéias — e logo o sistema chegará a uma fase de transição: pedaços isolados e obsessões particulares se aglutinarão em um novo modo de ver o mundo, compartilhado por milhares de indivíduos.

Foi exatamente o que aconteceu com o conjunto de pensamentos bottom-up nas três últimas décadas. Depois de anos de investigações independentes, os vários trabalhos de Turing, Shannon, Wiener, Selfridge, Weaver, Jacobs, Holland e Prigogine iniciaram uma revolução no modo como pensamos acerca do mundo e seus sistemas. Na época em que Jefferson e Taylor começaram a lidar com suas formigas virtuais, em meados da década de 1980, as trilhas da pesquisa intelectual já haviam crescido razoavelmente e se interconectaram o suficiente para criar uma ordem de nível superior (podemos chamar de emergência da emergência). Um campo de pesquisa que havia sido caracterizado por um punhado de investigações preliminares desabrochou da noite para o dia em uma paisagem diversificada e densamente povoada, transformando dezenas de disciplinas existentes e inventando várias outras. Em 1969, Marvin Minsky e Seymour Papert publicaram “Perceptrons”, que se

apoiava no dispositivo do Pandemônio de Selfridge para o reconhecimento de padrões distribuídos, abrindo o caminho para a teoria bottom-up de Minsky — a Sociedade da Mente —, desenvolvida na década seguinte. Em 1972, um professor da Universidade de Rockefeller chamado Gerald Edelman ganhou o prêmio Nobel por seu trabalho de decodificação da linguagem das moléculas dos anticorpos, abrindo caminho para o entendimento do sistema imunológico como um dispositivo auto-organizado de reconhecimento de padrões. O Nobel de Prigogine aconteceu cinco anos depois. No fim da década, Douglas Hofstadter publicou *Gödel, Escher, Bach*, ligando a inteligência artificial ao reconhecimento de padrões, às colônias de formigas e às *Variações Goldberg*. Apesar do assunto misterioso e da complicada estrutura retórica, o livro se transformou em um sucesso de vendas e ganhou o prêmio Pulitzer para não-ficção.

Em meados da década de 1980, a revolução estava em efervescência. O Instituto Santa Fé foi fundado em 1984; o livro *Caos*, de James Gleik, saiu três anos depois, com críticas elogiosas em todo o mundo, e foi seguido por dois livros populares de ciência, ambos chamados *Complexidade*. Estudos sobre vida artificial floresceram, parcialmente graças ao sucesso de programas de software como o Traker. Nas ciências humanas, teóricos críticos como Manuel De Landa começaram a lidar com as ferramentas conceituais da auto-organização, abandonando o paradigma do pós-estruturalismo ou de estudos culturais, então na moda. A fase de transição estava concluída: a chamada de Warren Weaver para o estudo da complexidade organizada havia recebido uma resposta expressiva. A “região do meio” de Warren Weaver finalmente fora ocupada pela vanguarda científica.

Estamos agora vivendo a terceira fase da revolução. Podemos datá-la do início da década de 1990, quando Will Wright lançou um programa chamado SimCity, que se tornou um dos maiores campeões de vendas de jogos de vídeo de todos os tempos. O SimCity também inauguraria uma nova fase no desenvolvimento da história da auto-organização: o comportamento emergente deixou de ser apenas mais um objeto de estudo, algo a ser interpretado e modelado em laboratório. Passou a ser também algo que se podia *construir*, com que se podia interagir e que se podia vender. Quando o SimCity apareceu como uma novidade do mundo bottom-up, mostrou-se uma nova abertura: SimCity era uma obra de cultura, não de ciência. Propunha-se a divertir, não a explicar.

Agora, dez anos após o lançamento do SimCity de Wright, o mundo tem uma quantidade enorme desses sistemas feitos pelo homem: lojas on-line

usam-nos para reconhecer nossos gostos culturais; artistas os utilizam para criar um novo tipo de formas culturais de adaptação, sites da Web usam-nos para ajustar suas comunidades on-line; profissionais de marketing, para detectar os padrões demográficos no público em geral. A própria indústria de jogos de vídeo explodiu em tamanho, ultrapassando Hollywood em termos de números brutos de venda — e muitos dos títulos mais vendidos baseiam-se no poder da auto-organização digital. Com esse sucesso popular veio um efeito sutil, mas significativo: estamos começando a *pensar* usando as ferramentas conceituais de sistemas bottom-up. Assim como as metáforas de relojoeiros do Iluminismo, ou a lógica dialética do século XIX, o mundo emergente pertence a este momento do tempo, dando forma a nossos modos de pensar e colorindo nossa percepção do mundo. Como nossa vida diária está cada vez mais povoada pela emergência artificial, descobriremos que confiamos cada vez mais na lógica desses sistemas — tanto na América corporativa, onde “inteligência bottom-up” começou a substituir a “administração para a qualidade” como o mantra do dia, quanto nos movimentos radicais de protestos contra a globalização, que explicitamente modelam suas organizações distribuídas e sem líderes a partir de exemplos como as colônias de formigas e o comportamento do *Dictyostelium discoideum*. O ex-vice presidente dos Estados Unidos, Al Gore, é um devoto da teoria da complexidade e é capaz de falar horas a fio sobre a importância do paradigma bottom-up para se reinventar o governo. Quase dois séculos após Engels lutar contra os problemas que o assombraram nas ruas da cidade de Manchester, e 50 anos depois de Turing resolver os mistérios do desabrochar das flores, finalmente o círculo está completo. Nossas mentes podem estar ligadas para procurar líderes, mas sem dúvida estamos aprendendo a pensar bottom-up.