

MODELOS FORMAIS DE COMUNICAÇÃO

Introdução

A teoria dos sistemas complexos tem vindo recentemente a tornar-se cada vez mais um quadro *a priori* constitutivo para múltiplas regiões do saber.¹ A expressão «teoria» dos sistemas complexos é talvez excessivamente ambiciosa, pois uma tal teoria unitária ainda não viu a luz. De momento, ela consiste sobretudo em, partindo de certas teorias matemáticas, se procurar modelar certos fenómenos particulares. Tendo igualmente a sua origem em avanços fundamentais em física e nas ciências da informação e da computação, essa teoria tem vindo a ser aplicada de modo cada vez mais sistemático num sector específico da experiência, o dos processos sociais. Uma das teorias a que a teoria dos sistemas complexos recorre é a teoria dos grafos, em particular a teoria dos grafos aleatórios. É essa teoria dos grafos que também permite começar a modelar os processos comunicativos. Nas páginas que se seguem, o conceito de «comunicação» será implicitamente definido, isto é, ele será caracterizado pela própria estrutura geral da teoria dos grafos, sendo especificado pelos domínios empíricos que analisaremos. Nesse sentido, a escolha da teoria dos grafos como quadro *a priori* gerador de modelos implica a existência de certas propriedades que terão de ser necessariamente observadas por qualquer estrutura comunicativa. São algumas das mais importantes dessas propriedades genéricas, em conjunto com a sua realização em certos domínios da experiência, que serão apresentadas neste artigo.

¹ Agradeço a A. N. Antão as múltiplas correcções e sugestões. Naturalmente que os erros que tenham permanecido são de minha responsabilidade.

Partir-se-á dos grafos estruturados sob a forma de árvores hierárquicas, mostrando-se que domínios como a teoria clássica da empresa são uma sua aplicação natural. Contrariamente a uma opinião dominante, salienta-se-á de seguida que a teoria, igualmente clássica, da economia é um processo comunicativo completamente centralizado. Mas a teoria dos grafos permite igualmente modelar processos locais que fazem emergir regularidades globais. Mais especificamente, serão apresentados certos desenvolvimentos recentes da teoria dos grafos aleatórios, em especial o modelo de Watts-Strogatz e o modelo de Barabási e *al.* São modelos que realmente permitem avançar no estudo das redes, como, por, exemplo, a rede WWW. Finalmente, procura-se-á ver até que ponto o conjunto de modelos abordados vindicam, ou não, a moderna ideologia comunicacional.

Árvores hierárquicas

Analisadas sob o seu ponto de vista mais geral, as estruturas comunicativas podem ser representadas por redes constituídas por nós e por ligações entre esses nós. Os nós podem representar qualquer elemento de uma rede particular e as ligações representam vias de comunicação. Na linguagem da teoria dos grafos, uma tal rede é precisamente um grafo. Um grafo é composto por N pontos, $v_1, v_2, v_3, \dots, v_n$, também chamados os *vértices* do grafo, e por um conjunto E de *arestas* que conectam esses vértices. As arestas também podem ser simplesmente designadas por ligações. Um qualquer par de vértices pode estar ligado ou não. Num grafo é possível definir um *caminho*, o qual existe quando se tem uma sequência finita de arestas tal que duas arestas consecutivas têm um vértice comum. Diz-se ainda que um grafo está *conectado* se quaisquer dois vértices estão ligados por um caminho. Quando existe um caminho, percorrido num único sentido, tal que as suas extremidades coincidem diz-se que existe um *ciclo* no grafo.

As definições acabadas de apresentar podem ser satisfeitas por inúmeros tipos de grafos. Inicialmente, interessa estudar um desses tipos, as *árvores*, que são grafos conexos e sem qualquer ciclo. Existem diversas formas de construir árvores. Em secções posteriores apresentar-se-ão outros exemplos. De momento, chama-se a atenção para um tipo específico de grafo em árvore que se revelou ser um verdadeiro princípio *a priori* para a formação de sistemas. Esse tipo específico de árvore é constituído pelas árvores *hierárquicas*. É possível gerar uma árvore hierárquica partindo da sua estrutura minimal, o que significa que essa estrutura se considera *dada*. Essa estrutura é um grafo com um vértice conectado por duas arestas a dois outros vértices. Designamo-lo por *germe*, e ele é representado na figura 1.

Figura 1



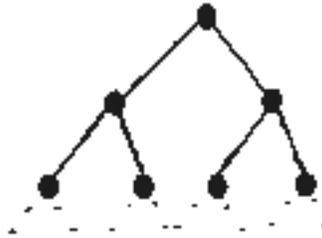
Germe de uma árvore hierárquica

Nesse germe existe um sistema de níveis (dois níveis, o nível x_0 e o nível x_1), com elementos em cada nível. A partir desse germe pode-se definir um sistema de níveis ordenados, $x_0 < x_1 < x_2, \dots < x_{nr}$ e uma transformação T operando sobre cada elemento j de cada nível:

$$T(x_{i,j}) \Rightarrow \begin{cases} x_{H1, j-1} \\ x_{H1, j} \end{cases} \quad (1)$$

Essa transformação gera a estrutura representada na figura 2.

Figura 2



Crescimento de uma árvore hierárquica

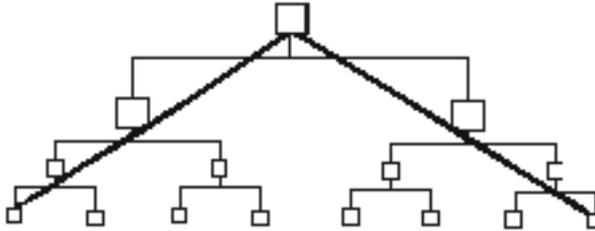
Esta estrutura possui uma propriedade que merece desde logo ser mencionada. A transformação tem como efeito reproduzir o germe inicial de modo invariante, e isso de forma que essa reprodução faz com que *localmente* se observe a mesma estrutura que a estrutura presente no processo *globalmente* considerado – na totalidade da árvore. Existiria portanto uma invariância total, pois local e global coincidiriam. No entanto, essa afirmação sofre uma restrição fundamental: a invariância não é total porque existe um *absoluto*. Esse absoluto é a raiz ou centro inicial a partir do qual surge a primeira ramificação; existe uma dominação absoluta dependendo de um primeiro centro. Como se verá, algumas das mais interessantes propriedades das árvores hierárquicas decorrem da existência desse centro dominante. Mas dado um centro e uma raiz ou ramificação inicial, a estrutura reproduz-se de forma invariante, *reproduzindo a relação hierárquica presente na primeira ramificação*.

Existem múltiplos exemplos de estruturas cujo princípio organizacional é o de uma árvore hierárquica. Um dos exemplos mais conhecidos é fornecido pela teoria clássica da empresa. Segundo essa teoria (cf., e.g., Chiavenato, 1993), a estrutura da uma empresa enquanto organização baseia-se nos seguintes princípios possuindo um conteúdo funcional:

- Divisão e especialização do trabalho.
- Autoridade e responsabilidade.
- Unidade de comando (princípio da autoridade única).
- Unidade de direcção.
- Centralização (concentração do poder no topo).
- Hierarquia (uma ordem passa por toda a cadeia de comando até chegar ao ponto onde deve ser executada).

Nos manuais de gestão, esses princípios são usualmente acompanhados pelo bem conhecido diagrama piramidal (figura 3).

Figura 3



Estrutura piramidal das empresas

É importante notar-se que existe uma coincidência entre a transformação que define formalmente a estrutura – uma transformação T operando sobre cada elemento dentro de cada nível – e os princípios funcionais acima listados. Noutros termos, a estrutura sintáctica tem um modelo nos princípios semânticos de organização empresarial. Assim, se se observar o diagrama tendo em conta os princípios funcionais, verifica-se que cada um destes se encontra identicamente presente em *cada parte* do diagrama e no próprio diagrama globalmente considerado. Por exemplo, o princípio de unidade de direcção está presente em cada ramificação local (um módulo que se subdivide em dois) e na própria estrutura global. O mesmo sucede naturalmente com o crucial princípio de divisão do trabalho, o qual é suposto ser um princípio de eficiência das organizações.

O diagrama da figura 3 pode ainda ser interpretado como uma representação do fluxo de comunicações no interior de uma organização. Segundo esse último ponto de vista, um diagrama piramidal pode não apenas ser encarado como um princípio de economia de trabalho e de recursos, mas também como um princípio de economia e de eficácia de transmissão da informação, no sentido em que a estrutura piramidal e modular permite eliminar as potenciais ambiguidades na comunicação e na execução das directivas veiculadas pelos nós da organização. Esse princípio funcional das organizações é igualmente uma consequência da topologia que se lhe encontra subjacente. Mais exactamente, é um consequência de um importante teorema da teoria dos grafos (Erdos, 1960).

Teorema. Seja um grafo conexo com N vértices e K ligações. Se $K \geq N$, então existe pelo menos um ciclo no grafo.

Esse teorema mostra que existe um substrato topológico o qual, interpretado em termos funcionais, implica a formação de canais de comunicação horizontais e a destruição da estrutura estritamente hierárquica da organização. Não se trata do único teorema que mostra como a estrutura topológica constrange o modo de funcionamento da organização. Existe uma outra propriedade simples das estruturas hierárquicas que consiste na ausência de *redundância*; funcionalmente, isso significa que elas são estruturas susceptíveis de se desagregarem quando o centro ou uma via de comunicação são eliminados. Em termos da teoria dos grafos, a ausência de redundância significa

que a árvore deixa de ser *conexa*. Assim, no exemplo da figura 3, é claro que a remoção de qualquer aresta tem como efeito desconectar o grafo.

Uma última observação acerca das estruturas hierárquicas invariantes consiste em chamar a atenção para o facto de ser devido ao processo invariante de reprodução – devido à existência um algoritmo de *crescimento* dado por uma transformação – que as estruturas empresariais piramidais se tornaram paradigmáticas. Esse ponto é sublinhado por dois teóricos contemporâneos da gestão:

A estrutura organizacional padrão, em forma de pirâmide, estava bem adaptada a uma envolvente de alto crescimento, porque era ampliável à escala necessária. Quando uma empresa precisava de crescer, podia simplesmente acrescentar trabalhadores necessários à base da pirâmide e, a seguir, preencher os escalões de supervisão acima deles. (M. Hammer e J. Champy, in Camara, 1996, p. 130)

O que prova que existe na teoria da gestão a consciência da existência de um algoritmo de crescimento interno das empresas, isto é, existe uma transformação que garante que a organização seja *escalável*. Note-se ainda que a citação anterior deixa implícito um processo de crescimento das estruturas um pouco diferente do que até agora considerámos: em vez de se partir de um grafo conexo que de seguida é transformado de modo invariante, podemos ter um processo em que surgem inicialmente novos vértices após o que podemos ligá-los. Apresentar-se-ão mais adiante grafos gerados desta forma.

Grafos em estrela

No tipo de árvore hierárquica considerado na secção anterior destacou-se a acção de uma transformação que reproduz de forma invariante um germe inicial. Como rapidamente se deixou mencionado, isso permite encarar esse tipo de estrutura como implicando um processo de descentralização, no sentido em que certas «competências» podem ser delegadas em nós mais baixos da hierarquia. Se agora deixarmos de lado a reprodução da estrutura a partir de cada nó, podemos apenas considerar ramificações originadas num único centro, obtendo uma estrutura centrada «pura». O seu grafo é representado na figura 4.

Figura 4



Estrutura centrada

Naturalmente que existem diversos processos comunicativos que realizam semanticamente essa estrutura: qualquer estrutura com um centro irradiando informação para um conjunto de elementos homogêneos é um caso.

O exemplo que aqui gostaríamos de apresentar é retirado de um domínio, a economia em mercado livre e concorrencial, no qual sempre se sustentou que não existiriam processos centralizados. No entanto, o facto é que o modelo dominante da economia, o modelo do equilíbrio geral, base da

chamada teoria neoclássica da economia, tem subjacente uma estrutura centrada do tipo da representada na figura 4. Nesse modelo, os agentes económicos determinam as suas procuras e ofertas de modo a maximizar a suas utilidades (o lucro, em particular). Prova-se então que o sistema constituído pela funções de procura dos agentes converge para um estado de equilíbrio (único), isto é, a economia funcionará num regime de equilíbrio em que a totalidade do excesso da procura (considerada em *todos* os bens e em *todos* os mercados) será igual a zero.

A questão que de seguida se coloca reside em saber como é que o próprio estado de equilíbrio é atingido. Esse estado *não* é atingido por qualquer negociação ou troca *directa* entre os agentes económicos. De facto, como o equilíbrio em cada mercado depende do que sucede em todos os outros, a formação de um certo preço implica a solução simultânea da totalidade das equações que correspondem à procura e à oferta de cada bem em cada mercado. Como é claro, nenhum agente conhece um tal sistema (enorme) de equações, e na verdade o preço de um certo produto aparece a um agente como *dado*. Os *preços* formam-se *antes que qualquer troca tenha tido efectivamente lugar*. Mas, de novo, como é que eles se formam? A resposta, clássica, de Walras (Walras, 1874) consistiu em propor a *ficção* de um leiloeiro (*commissaire-priseur*), uma espécie de ser omnisciente que, tendo uma visão de todos os bens em todos os mercados, procede do seguinte modo: ajusta sistematicamente os preços fazendo aumentar aqueles onde existe um excesso da procura (o que de seguida os faz diminuir) e fazendo diminuir aqueles onde existe um excesso da oferta (o que de seguida os faz aumentar). Neste processo, os agentes comunicam as suas ofertas e procuras ao leiloeiro, após o que ele as compara sistematicamente e afixa publicamente o preço resultante, o qual se torna o *signal* através do qual os agentes comunicam. É fundamental repetir-se que os agentes *não comunicam directamente entre si*, mas apenas comunicam indirectamente através desse mediador comum e universal que é o leiloeiro. Este é pois de modo exacto o centro fonte mediador de toda a comunicação. Ele age globalmente sobre todos os agentes. Já os agentes se encontram isolados uns face aos outros. O grafo que representa essa situação é pois do tipo da figura 4, com ligações apenas do vértice central para os vértices periféricos. Naturalmente que um algoritmo como o que gera a figura 2 poderia então ser aplicado, produzindo leiloeiros mais especializados. Trata-se de uma estrutura centrada e hierárquica.

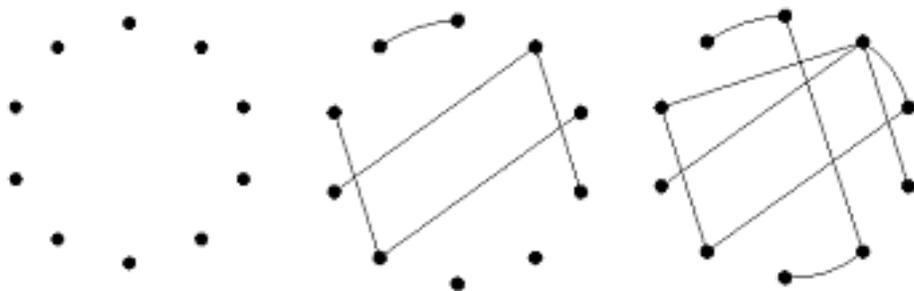
O que sucederia se se acrescentarem arestas ou ligações aos vértices da figura 4? Apareceriam ciclos. Nesse caso, ficaria aberta a possibilidade de comunicação directa entre os agentes. E se esse tipo de comunicação existe em processos económicos reais, não é de esperar que as «boas» propriedades enunciadas pelo modelo neoclássico da economia (existência de um equilíbrio único, alocação óptima de recursos, etc.) se continuem a verificar. Se essa situação de comunicação directa é uma situação real não apenas na economia mas também em muitos outros sistemas é forçoso considerar grafos mais complexos que os até agora analisados.

Grafos aleatórios

Na realidade, teria sido possível gerar as árvores apresentadas nas secções anteriores recorrendo a uma parte da teoria dos grafos designado por *teoria dos grafos aleatórios* (a referência fundamental é Bollábas, 1985). Nessa teoria, as arestas ou caminhos não estão dados à partida, mas formam-se a partir de um conjunto de vértices previamente dados. Mais especificamente, parte-se de n vértices e

nenhuma aresta, e de seguida conecta-se *aleatoriamente* com probabilidade p cada par de vértices. Essa probabilidade pode calcular-se como a fracção entre as ligações actuais e a totalidade das ligações possíveis.² Um exemplo é o da figura 5.

Figura 5



Construção de grafos aleatórios. Da esquerda para a direita tem-se $p=0$, $p \approx 0,1$, $p=0,2$.

A teoria dos grafos aleatórios permite encontrar *transições críticas de fase*, pelo que ela faz parte do verdadeiro quadro transdisciplinar que hoje em dia se tornou a teoria dos fenómenos críticos (cf. Bunde e Havlin, 1995). Isso significa que em certos pontos de transição crítica *emergem* certas propriedades. Um exemplo é precisamente a emergência de árvores, caracterizadas por $n = k - 1$ (k é o número de arestas), e onde, como vimos, se $n = k$ tem de existir pelo menos um ciclo.

Afirmar que a uma certa propriedade emerge num ponto crítico significa que essa emergência se dá numa escala temporal muito rápida quando comparada com a escala temporal da totalidade do processo de construção de um grafo. Para além das árvores, uma propriedade aqui importante é a emergência de *agrupamentos (clusters)* «gigantes» num momento súbito da construção de um grafo aleatório. Um «agrupamento gigante» emerge quando um parâmetro de que o grafo depende ultrapassa um certo valor crítico. No caso dos grafos aleatórios, esse parâmetro é a probabilidade, p , de dois nós ou vértices se encontrarem ligados. Mostra-se então (Bollábas, 1985) que um existe um valor de probabilidade crítica p_c , com o valor crítico $c \approx 1$, isto é, quando $p \approx 1/n$ emerge um agrupamento gigante. Naturalmente que se fala em «agrupamento gigante» por relação ao tamanho do grafo. A emergência de um agrupamento conectando «quase» todos os vértices do grafo seria mais visível se, em vez de grafos com apenas dez vértices, a figura 5 apresentasse grafos com um número de vértices muito maior. O tamanho desse agrupamento torna-se «quase» do tamanho do grafo no limite assintótico n , onde é possível atingir «quase» todo o vértice a partir de qualquer outro. Quando se dá a transição crítica a partir da qual é possível atingir qualquer vértice a partir de qualquer outro, vértices muito distantes no grafo *comunicam uns com os outros*.

Podem ser dadas diversas interpretações do esquema formal acabado de expor em linhas gerais. Tendo-se especialmente em vista os processos sociais de comunicação, um deles consiste em interpretar os vértices como indivíduos, enquanto o estabelecimento de uma ligação significa que um indivíduo *imita* um outro.

² Sendo n o número de vértices, a totalidade das ligações possíveis num grafo é igual a $n(n-1)/2$.

Esse tipo de interpretação permite reavaliar a teoria económica dos mercados, em especial a teoria dos mercados financeiros. Tal como sucede com a teoria neoclássica da economia, também a teoria clássica dos mercados financeiros (isto é, a chamada «teoria da eficiência dos mercados» e a teoria das expectativas racionais que se lhe encontra associada) parte da suposição fundamental que os agentes são *independentes* uns dos outros. Eles não comunicam uns com os outros, e apenas determinam as suas decisões (compra ou venda de um título em bolsa) em função de certos valores ditos «fundamentais»: o valor esperado de um título em função da relação entre o seu preço e os resultados da empresa, valor dos dividendos, certas informações, etc. Os detalhes não são aqui muito importantes (cf. Farmer, 2000), sendo suficiente sublinhar que um vasto conjunto de dados empíricos mostra que essa teoria está longe de constituir uma descrição correcta da evolução dos índices dos mercados de capitais. Em função desses dados, e de certas observações acerca do comportamento efectivo dos operadores das bolsas de valores financeiros, pode-se ser levado à hipótese que esse comportamento se baseia em larga medida na imitação. Isso implica abandonar a hipótese da independência dos agentes. De entre os diversos modelos que supõem que os agentes financeiros baseiam as suas acções na imitação das acções dos outros, é relevante aqui o modelo de Cond-Bouchaud (Cond e Bouchaud, 1997). Esses autores partem de agentes individuais ou de grupos de maior dimensão (fundos de acções, por exemplo) que estabelecem ligações com outros e que, em função dessas ligações, podem assumir dois estados (compram ou vendem). Note-se que se tratam de ligações *locais*.

O modelo mostra que o comportamento da rede formada por agentes financeiros imitando-se localmente depende crucialmente de um parâmetro c , que designa o número médio de ligações que um agente possui com outros; portanto, um parâmetro análogo ao parâmetro p mencionado a propósito dos grafos aleatórios. Se uma ligação (uma aresta) existe, um agente imita um outro, e é levado ao mesmo tipo de acção que o outro (vender, por exemplo). Sem se entrar nos detalhes do modelo – naturalmente importantes do ponto de vista de uma teoria dos mercados financeiros –, a conclusão principal que dele se retira é que com $c = 1$ se tem um ponto de transição crítica, tal como a teoria dos grafos aleatórios prevê. Trata-se da emergência de ciclos de todas as ordens, que aqui significa que os agentes se imitam uns aos outros, entram em fase comum e emitem todos a mesma ordem (venda, por exemplo). Em termos de mercados financeiros, a consequência é uma descida vertiginosa no valor dos títulos, isto é, com $c = 1$ existe um *crash* bolsista. No ponto crítico, a comunicação propaga-se por todo o sistema, existem ordens de venda em todas as escalas (desde o pequeno investidor aos grandes fundos). Trata-se de uma rede em que actos *locais* – imitação entre dois agentes – fazem emergir um estado *global* de ordem (um grande número de agentes encontra-se alinhado), sem que exista qualquer centro coordenador e sem que qualquer agente tenha qualquer consciência, ou possa antecipar, o estado global para que está não intencionalmente contribuindo.

A teoria dos grafos aleatórios surge assim como uma teoria que permite modelar os processos comunicativos *por contágio*. Poder-se-iam multiplicar os exemplo de aplicação da teoria, como é o caso da propagação de epidemias. Preferimos no entanto referir um teoria desenvolvida num contexto diferente e apenas assente em bases qualitativas. Ela indica como a teoria dos fenómenos críticos pode de facto revelar-se constitutiva para a análise dos processos sociais.

Essa teoria é a de R. Girard (Girard, 1972) acerca da formação e dissolução das sociedades. Um dos seus principais objectivos é explicar a função dos *rituais de sacrifício*. Essa explicação opera

através da *mimesis* e da sua difusão contagiante. Em particular, Girard mostra como a *mimesis* subjaz à *violência* e como esta tende a difundir-se pelo conjunto de um sistema social suficientemente conexo. Partindo-se de uma situação em que os indivíduos são largamente *independentes* uns dos outros, certos factores podem levá-los a ficar cada vez mais presos uns aos outros, a ficar cada vez mais dependentes uns dos outros. Na realidade, a situação de completa independência dos indivíduos uns em relação aos outros é em larga medida uma situação ideal, visto supor-se que a *mimesis* é constitutiva de cada indivíduo. Qualquer que seja a sua origem biológica, a *mimesis* é um processo local de interacção entre dois indivíduos mas que se desenvolve cumulativamente, no sentido em que cada indivíduo se torna cada vez mais o Outro de cada um outro até que uma certa qualidade – a violência é o exemplo mais claro – se propaga por todo o sistema; os indivíduos tornam-se todos «gémeos da violência». Nesse momento surge a crise sacrificial. Como escreve Girard:

De onde provém essa unanimidade misteriosa? Na crise sacrificial, os antagonistas crêem-se todos separados por uma enorme diferença. Na realidade, todas as diferenças se apagam a pouco e pouco. Por todo o lado o mesmo desejo, o mesmo ódio, a mesma estratégia, a mesma ilusão de uma enorme diferença dentro da uniformidade cada vez maior. À medida que a crise se exaspera, os membros da comunidade tornam-se todos gémeos da violência. (Girard. 1972, p. 121)

Cada indivíduo compara-se com um outro, e através desse sistema de comparações o conjunto de elementos de uma certa rede social é conduzido para um estado de fase global comum: todas as diferenças se apagam e cada um torna-se o gémeo da violência de qualquer outro; é o momento em que a violência é comunicada por todo o sistema. É quando mais diferentes se julgam que na realidade os indivíduos estão cada vez mais próximos de todos os outros. O génio de Girard consistiu em intuir a existência de um limiar crítico de transição entre a fase de cada vez menor independência dos indivíduos e uma fase comum em que todos «estão presos uns aos outros». Mais, Girard mostrou que, nesse momento de transição de fase, emerge uma figura muito particular:

Se a violência uniformiza realmente os homens, se cada um se torna o duplo ou «gémeo» do seu antagonista, se todos os duplos são os mesmos, não importa qualquer um deles pode tornar-se, não importa a que momento, o duplo de todos os outros, isto é, o objecto de uma fascinação e ódio universal. Uma única vítima pode substituir-se a todas as vítimas potenciais... (Idem)

No ponto crítico, emerge a figura da vítima sacrificada, a qual possui as características dos *bodes expiatórios*. No ponto crítico, cada um é o duplo de qualquer outro, exactamente o momento em que surge o invariante de todos esses duplos, e que mais não é que o estado de violência de cada um para um outro. A vítima sacrificada nos rituais de sacrifício é o invariante global de múltiplas interacções locais. Como ela mais não é que o substituto exemplar desse invariante, a sua individualização num certo indivíduo não pode senão ser *arbitrária*: potencialmente, um qualquer membro da comunidade preenche as condições de ser o objecto da violência de cada um e de todos, isto é, potencialmente qualquer um pode ser um bode expiatório. A violência de cada um para qualquer um outro converte-se pois na violência de *todos contra um*, na exteriorização da violência de todos na figura do bode expiatório a quem é imputada a responsabilidade pela violência generalizada. *Às acções locais, geradoras de forma não intencional de um estado de coordenação global, substitui-se uma causa única e global que age causalmente de modo idêntico sobre todos os indivíduos.* E visto o sacrifício da vítima restaurar a ordem social, ela é efectivamente julgada responsável pela

desordem anteriormente existente. Segundo Girard, os inúmeros rituais de sacrifício, mais ou menos secularizados, teriam tido todos tido origem nessa dinâmica.

As ideias de Girard poderiam ser formalizadas de forma esquemática segundo as linhas dos modelos acima referidos, sendo naturalmente necessário introduzir hipóteses adicionais acerca da *mimesis* e da violência que ela encerra. Mas, talvez mais importante, elas apontam para um processo que designamos por substituição mítica (Machuco Rosa, 2001): a substituição de uma causalidade distribuída e local por um centro único dotado de poderes causais. Esse processo restaura a independência dos indivíduos, pois as consequências globais das suas acções locais passam a ser vistas como tendo origem em algo exógeno e transcendente. *Com base no Eu originário de cada indivíduo, gera-se a formação imaginária, nas consciências, da instanciação cognitiva dos grafos centrados.* Em termos de teorias dos grafos, temos efectivamente a emergência de uma estrutura que pode ser representada por um grafo centrado do tipo da figura 4: não existem ligações entre os vértices periféricos, mas apenas do vértice central para esses vértices periféricos, segundo uma estrutura que também vimos estar presente na ficção do leiloeiro de Walras. Noutros termos, temos um processo local *acentrado* que gera a comunicação global através de um centro imaginário.

O modelo de Watts-Strogatz

A teoria dos grafos aleatórios permite modelar diversos processos sociais e comunicativos. Existem no entanto exemplos que mostram de forma clara algumas das limitações dessa teoria. Segundo a teoria, a probabilidade de quaisquer dois vértices estarem conectados é aproximadamente a mesma. Mas é evidente que as redes sociais violam muitas vezes esses princípios. Por exemplo, se um indivíduo A é amigo do indivíduo B e do indivíduo C, é provável que B e C sejam também amigos. No entanto, em grafos aleatórios a probabilidade de B e C serem amigos é a mesma que quaisquer dois outros indivíduos serem também amigos.

Na teoria dos grafos, existe uma quantidade que permite medir a fracção média de pares de vértices vizinhos de um dado vértice que são igualmente vizinhos um do outro. Essa quantidade é designada por *coeficiente de agrupamento*, designada por C . O seu valor é baixo nos grafos aleatórios, baixo por relação ao que se verifica num outro tipo de grafos, os *grafos regulares*. Os grafos regulares são os grafos em que qualquer vértice tem o mesmo número de arestas incidentes. Eles podem ser distinguidos dos grafos aleatórios não apenas pelo valor do seu coeficiente de agrupamento mas igualmente através de uma outra importante quantidade, a *distância*, L , de um grafo. Esta é definida como o número médio de passos (contados na passagem por cada vértice intermédio) entre quaisquer dois vértices do grafo. Uma quantidade semelhante à distância é o diâmetro, d , o qual é a distância máxima entre dois vértices. Logo, $L \leq d$.

Em dimensão 1, o coeficiente de agrupamento C calcula-se segundo a expressão (2), na qual v são os vértices e k são as arestas ou ligações:

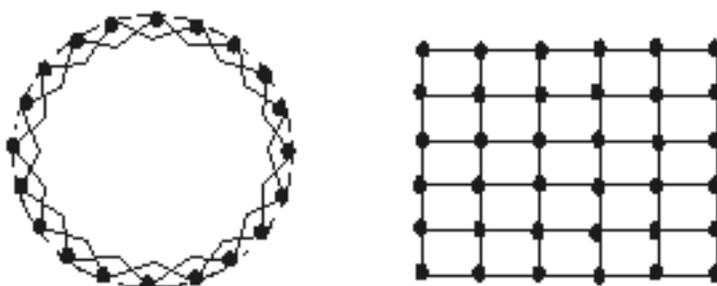
$$C = \frac{3(k-2)}{4(k-1)} \quad (2)$$

E a distância calcula-se:

$$L = \frac{v(v+k-2)}{2k(v-1)} \quad (3)$$

A figura 6 ilustra os conceitos acabados de introduzir.

Figura 6



No grafo regular da esquerda tem-se $v=20$ e $k=4$, donde $L=2,89473$ e $C=0,5$. No da direita tem-se um grafo em duas dimensões com $L=4,764$. Para um número suficientemente grande k , C tende para $\frac{1}{2}$.

Num grafo regular, L aumenta com o número de vértices. Por outro lado, L é muito menor em grafos aleatórios – é uma propriedade intuitiva, pois poderão existir «atalhos» entre quaisquer dois vértices. Temos pois dois tipos de grafos que apresentam certas características próprias e opostas. De um lado, os grafos regulares, que são grafos ordenados que possuem um alto valor de coeficiente de agrupamento e uma grande distância média entre os vértices. Do outro, os grafos aleatórios, que são grafos desordenados que não exibem agrupamento mas que fazem diminuir a distância média entre os vértices.

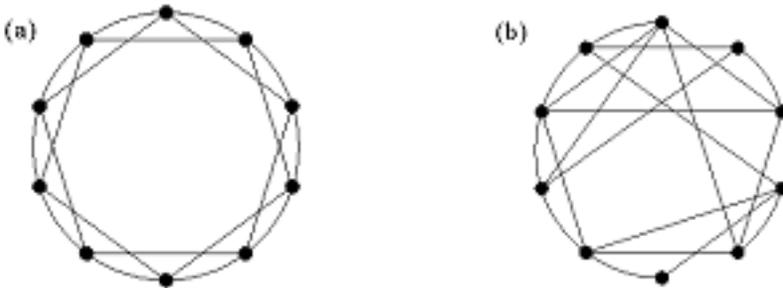
A questão que se coloca é então a seguinte: existem grafos que retêm ambas as propriedades, isto é, um valor de L da ordem do verificado em grafos aleatórios e um coeficiente de agrupamento da ordem do dos grafos regulares? O já célebre modelo de Watts-Strogatz (Watts e Strogatz, 1998) permite responder afirmativamente a essa questão. Duncan Watts e Steve Strogatz propuseram um novo tipo de grafos, o qual exhibe uma *transição crítica* entre ordem (grafos regulares) e desordem (grafos aleatórios). Esses grafos são construídos partindo de grafos regulares, mas num certo momento crítico emergem conexões de longo alcance, uma propriedade que, no início da quarta secção, vimos ser emergentes nos grafos aleatórios.

Mais especificamente, o modelo de Wattz-Strogatz original parte de um grafo regular com ligações entre um vértice e o seu vértice vizinho e ainda com o vértice vizinho deste último. No caso unidimensional, o número de coordenação ou número de arestas incidentes a cada vértice é pois $k=4$. De seguida, o grafo é reconectado, isto é, com probabilidade p a extremidade de uma aresta é deslocada para um outro vértice aleatoriamente escolhido. Prova-se então que, para um valor

baixo de p , existe uma transição crítica, em que o grafo resultando da operação de reconexão faz diminuir drasticamente a distância média entre cada vértice, preservando no entanto o coeficiente de agrupamento. Um grafo de Watts-Strogatz tem pois um valor de C semelhante aos dos grafos regulares e um valor de L semelhante aos dos grafos aleatórios. Ele faz a transição entre esses dois tipos de grafos extremos.

A figura 7 ilustra a construção de um grafo de Watts-Strogatz com $n=10$, $k=4$ e a probabilidade de reconexão = 0,4

Figura 7



Construção de um grafo de Watts-Strogatz. Em a) tem-se um grafo regular com $n=10$ e $k=4$. Em b), alguns vértices são religados com 3 atalhos. Mesmo após a reconexão, C mantém em média o mesmo valor mas o valor de L baixa.

O interesse do modelo de Watts-Strogatz reside no facto de muitas redes reais verificarem de facto um valor de L da ordem dos grafos aleatórios e um valor de C da ordem dos grafos regulares. Esse tipo de redes são designadas por «mundos-pequenos» (*small-worlds*), e foi o modelo de Watts-Strogatz que efectivamente permitiu iniciar o seu estudo sistemático (cf. Watts, 1999, para uma panorâmica geral).

Os «mundos-pequenos» abundam. Nos anos sessenta, S. Milgram (Milgram, 1967) procedeu a um conjunto de experiências que lhe permitiu conjecturar que, partindo de um certo indivíduo, um qualquer outro indivíduo no mundo poderia ser atingido passando em média por 6 indivíduos intermediários, isto é, a relação «conhecido de» formaria um caminho com d aproximadamente igual a 6. Um outro exemplo popular é a contracenação de actores de cinema. Um dos actores que mais contracenou com outros foi Kevin Bacon. Partindo de um qualquer actor, existem no máximo quatro actores até se atingir um actor que contracenou com K. Bacon. Foram igualmente feitas análises detalhadas da rede eléctrica do oeste nos Estados- Unidos, bem como de certas redes neuronais, verificando-se sempre propriedade de «mundo-pequeno».³ Mas um dos exemplos arquetípicos de redes é a Internet, em particular a WORLD WIDE WEB (WWW). E também se provou (Barabási e al, 1999a) que a WWW é um «mundo-pequeno». A WWW é um grafo composto por vértices (pági-

³ Na tabela apresentam-se de forma mais sistemática os resultados mencionados no texto. CRG designa o valor que C assumiria num grafo aleatório (resultados extraídos de Watts, 1999).

Rede	N	L	C	P Watts-Strogatz	CRGK
Bacon	225.226	3.65	0.79	0.0002	0.00027
Rede Neuronal	282	2.65	0.28	0.07	0.05
Rede Eléctrica	4941	18.7	0.08	0.79	0.0005

nas *web*) e por ligações (*links*) entre as páginas. Ora, apesar de a WWW possuir mais de 800 milhões de páginas, ela é um «mundo-pequeno», com um número médio de 19 passos (cliques em *links*) para ir de uma página a qualquer outra.

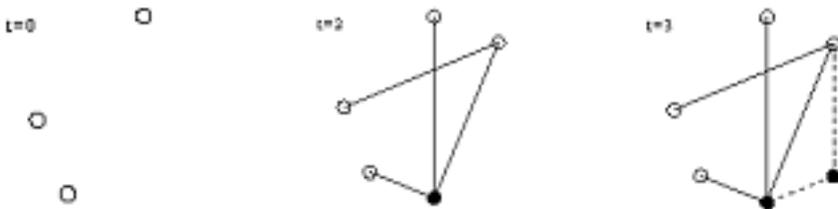
Ligações preferenciais e modelo de Barabási

Os grafos que exibem a propriedade «mundo-pequeno» fazem a transição crítica entre os grafos regulares e os grafos desordenados. Eles podem contudo ser englobados na categoria dos grafos aleatórios na medida em que se parte de um número fixo de vértices, os quais são de seguida aleatoriamente reconectados. Tal como sucede nos grafos aleatórios, num grafo de Watts-Strogatz cada vértice tem aproximadamente o mesmo número de ligações. *Mas existem muitas redes que não satisfazem essa condição.* Por exemplo, a WWW expande-se constantemente pela criação de novas páginas *web*, e é mais provável que essas novas páginas *web* tenham ligações para páginas *web* muito conhecidas e já com uma grande densidade de ligações. Trata-se de uma rede aberta na qual novos vértices não são conectados aleatoriamente a vértices já existentes. Em vista a dar conta desse facto, A. Barabási, R. Albert e *al* (Barabási, Albert e *al*, 1999b) introduziram um novo tipo de grafos, designados por «grafos livres de escala». Veremos as razões dessa designação, que abreviamos por BA. É necessário apresentar antes as linhas gerais do modelo de Barabási e Albert.

Nesse modelo parte-se de um pequeno número de vértices, v , e em cada passo temporal cria-se um novo vértice que é ligado a vértices já existentes, com o número de ligações ou arestas \leq que o número de vértices. A probabilidade de um novo vértice ser conectado a um vértice já existente depende da conectividade deste último, isto é, quanto mais conectado um vértice for maior a probabilidade de um novo vértice lhe estar conectado.

Temos pois um processo dinâmico de *crescimento* com *ligações preferenciais*: quantas mais ligações um vértice já possui maior a probabilidade de vir a adquirir mais ligações. A figura 8 ilustra o modelo.

Figura 8



O modelo BA. Em $t=0$ existem três vértices isolados. Em cada passo temporal adiciona-se um novo vértice, conectado a 2 vértices já existentes, preferencialmente aos vértices com maior conectividade. Assim, em $t=2$, existem 5 vértices e 4 arestas. Em $t=3$ é adicionado um novo vértice, ligado aos vértices com maior conectividade (segundo Barabási e *al*, 1999b).

O modelo de BA exhibe propriedades bastante interessantes, sobretudo no que respeita ao estudo da WWW. Desde logo porque um grafo BA também forma um «mundo pequeno», sendo nesse contexto que Barabási obtiveram $d \approx 19$ para a WWW. Mais importante é o modelo fornecer um

mecanismo susceptível de explicar uma característica que inúmeros dados empíricos atestam: a distribuição de *links* na WWW exhibe *invariância de escala*. Mais exactamente, a probabilidade $P(k)$ de um vértice estar conectado por k outros vértices decresce segundo a forma de (4).

$$P(k) \sim k^{-\lambda} \quad (4)$$

Segue-se de (4) que a probabilidade da existência de *sítes* apontados por um grande número de *links* é pequena, sendo grande a probabilidade de existir um grande número de *sítes* pouco conectados. No entanto, no caso de uma lei de potência como (4), essa pequena probabilidade é estatisticamente significativa e, na realidade, usando robots que iterativamente registam todas as URL's, mostra-se que essa lei se verifica empiricamente e que $\lambda = 2.1$ (Barabási e *al*, *Idem*).

O expoente λ é análogo aos expoentes críticos que determinam as transições críticas de fase da matéria (cf. Fischer, 1983). Contudo, contrariamente ao que sucede nesse tipo de transições, não existe aqui um parâmetro externo que controla a transição crítica. Estamos antes no quadro dos fenómenos que exibem *auto-organização crítica*, um tipo de processos que se tornou um verdadeiro quadro transdisciplinar para o pensamento (cf. Bak, 1996). Nesse tipo de fenómenos, o sistema converge espontaneamente para a auto-organização e permanece nesse estado, no qual não existe escala característica. Mesmo que diversos pormenores tenham de ser modificados (cf. Adamic e Huberman, 1999, Vasques, 2000), um aspecto notável do modelo de Barabási consiste em exhibir o mecanismo que conduz o sistema para o estado crítico de equilíbrio. Esse mecanismo é o crescimento de vértices e a propriedade fundamental de ligação preferencial.

A existência de uma distribuição de *links* seguindo a forma de (4) na WWW é um excelente exemplo da dialéctica local/global posta em destaque pela teoria dos grafos. A criação de *links* na WWW é um acto essencialmente local. No entanto, a partir dessa miríade de actos locais emerge uma regularidade global, precisamente a distribuição $P(k) \sim k^{-\lambda}$. Nesse sentido, os indivíduos contribuem não intencionalmente para a criação de uma ordem global que transcende qualquer um. Trata-se da filosofia geral dos sistemas nos quais os agentes comunicam apenas localmente. Essa comunicação gera efeitos a larga escala impossíveis de serem deduzidos a partir da análise das acções locais do sistema. Em muitos casos (cf. Alves, Machuco Rosa e Antão, 2001), a regularidade global possui mesmo características contrárias ao tipo de acção local seguida. Em geral, emergem estruturas globais que podemos interpretar como possuindo centros. No caso da WWW, emergem *sítes* que tenderão a ser cada vez maiores (possuem mais caminhos na sua direcção), e quando maiores são maiores tenderão a ser. A informação tenderá portanto a orientar-se em direcção aos *sítes* mais visíveis. Trata-se da retroacção positiva, que tem como consequência inevitável a existência de um pequeno número de *sítes* com uma densidade enorme de conexões e um número enorme de *sítes* com uma fraca densidade de conexões.

Existe um último aspecto posto em relevo pelo modelo de Barabási que merece ser mencionado.

O algoritmo de transmissão de *bits* através da Internet é o *package-switching*, e ele tem como característica ser um algoritmo redundante e distribuído. Ele foi implementado, nos anos sessenta, devido a possuir *robustez*, isto é, ser bastante tolerante a falhas: se uma parte do sistema (um *router*, por exemplo) entra em mau funcionamento, o algoritmo deve enviar a mensagem por outro caminho (cf. Machuco Rosa, 1998, para detalhes). Essa robustez sempre foi considerada uma característica distintiva da Internet. Ora, aplicado à WWW, o modelo de Barabási e *al* permite ver

essa característica sob uma nova luz. O que sucede se aleatoriamente se remover uma fracção dos vértices (páginas *web*, ou *routers*, por exemplo) do sistema? Se uma rede como a WWW for descrita pela teoria dos grafos aleatórios, é claro o que sucede ao diâmetro da rede no caso em que alguns vértices são eliminados. O diâmetro tende a crescer, assim como ele cresce quando passamos de um grafo aleatório para um grafo regular. Mas já num grafo sem escala característica o comprimento do diâmetro mantém-se. É fácil perceber porquê (cf. Réka e Barabási, 2000): secciona-se aleatoriamente um certo número de nós em vista à sua remoção. Como existem muito poucos nós com um grande número de ligações, a probabilidade de um desses nós ser seleccionado é bastante baixa. Pelo contrário, é mais provável que sejam seleccionados nós com poucas ligações (visto existirem muitos nós desse tipo, de acordo com a lei de escala da WWW), donde a remoção de alguns desses nós não altera substancialmente a estrutura de ligações dos nós sobreviventes. Sob esse aspecto, a WWW é efectivamente uma rede redundante.

Só que essa situação possui evidentemente um reverso. Suponhamos que um indivíduo está bem informado acerca da ausência de escala característica na WWW. Se esse indivíduo quisesse levar a cabo um ataque à rede, visando causar o máximo de dano possível, certamente que ele escolheria um dos poucos nós densamente conectados, os quais são pontos centrais cuja destruição tem grandes consequências na estrutura topológica geral do sistema. Um grafo sem escala característica é portanto extremamente susceptível a ataques com consequências extremamente nocivas. Esse tipo de grafos faz efectivamente emergir estruturas «centradas», e, como vimos na primeira secção, nesse tipo de estruturas a destruição do centro tende a destruir o sistema, isto é, *o grafo passa de conexo a não conexo*. O sistema fica decomposto em partes *isoladas*.

Grafos, redes e ideologia comunicacional

A teoria dos grafos que temos vindo a analisar faz parte da teoria nascente dos sistemas complexos.⁴ O crescente interesse pelo estudo dos sistemas complexos foi acompanhado pelo surgimento de uma ideologia segundo a qual esses tipo de sistemas revelariam certas propriedades de optimização, assim como apontariam para um tipo de estrutura comunicativa, «transparente», «aberta», «interactiva» e susceptível de orientar novos ideais de progresso humano. Esse tipo de ideologia foi disseminado por autores de divulgação (cf. Kelly, 1995), mas os próprios cientistas não deixaram de contribuir para isso (cf. Kauffman, 1995). Contudo, analisados do ponto de vista da sua possível transposição para representações globais dos processos sociais e comunicativos, os modelos formais que passámos anteriormente em revista sugerem outro tipo de conclusões, no mínimo mais ambíguas. Para terminar, vejamos exactamente quais são essas conclusões.

Do ponto de vista da sua eficiência, estruturas comunicativas sob a forma de árvores hierárquicas exibem um misto de vantagens e desvantagens. As vantagens respeitam à simplicidade dos algoritmos subjacentes, simplicidade que se deve reportar à facilidade em escalar essas estruturas. Por outro lado, a simplicidade da estrutura traduz-se na clareza com que a informação nela circula, acompanhada pela potencial ausência de ambiguidades bem como pela igualmente clara

⁴ Como a teoria dos sistemas complexos não existe, não é possível referir qualquer obra de síntese. Para uma visão parcelar, o leitor poderá consultar Casti, 1994, Bak, 1996, Arthur e *al*, 1997.

divisão do trabalho. Entre outras consequências, esses aspectos mostram que as árvores hierárquicas são estruturas particularmente eficazes ao nível da alocação de recursos e de economia de tempo. O exemplo paradigmático dessas características é fornecida pelas formas clássicas, e suas variantes, da organização de empresas.

Viu-se na segunda secção que também a teoria neoclássica da economia pode ser esquematizada por um grafo em árvore. Essa teoria pode em larga medida ser descrita como um poderoso mecanismo de optimização de alocação de recursos acompanhando a situação de equilíbrio nos mercados. Mas essas propriedades são obtidos debaixo da suposição segundo a qual os agentes económicos são completamente ou quase completamente racionais, que eles orientam os seus comportamento em função de certos dados *objectivos* e, sobretudo, debaixo da suposição da sua *independência*. Eles apenas dependem de uma fonte de sinais comum a todos (ficção do leiloeiro), não comunicando directamente entre si. Ora, essa situação dos agentes torna-os, para utilizar expressões típicas da moderna ideologia comunicativa, simultaneamente opacos e transparentes uns aos outros. Eles são opacos porque a teoria neoclássica apenas assume um mínimo acerca das pulsões e representações cognitivas de cada indivíduo: a busca do interesse próprio, isto é, a satisfação daquilo que os economistas designam pela função de utilidade de cada indivíduo. O carácter socialmente distintivo da economia consistiria então em mostrar-se que um equilíbrio comunitário surge apesar de cada indivíduo apenas buscar o seu interesse. Como eles apenas comunicam através do sinal veiculado pelos preços, pode igualmente afirmar-se que os indivíduos são totalmente transparentes uns perante os outros; os seus comportamentos apenas se baseiam numa certa realidade objectiva e *exterior* a todos eles. É nesse sentido que a máxima opacidade de cada um garantiria a máxima liberdade de cada um (Dupuy, 1992).

Contudo, se se introduzirem ligações directas entre os indivíduos, se eles comunicarem directamente entre si através de outros factores que não apenas uma realidade objectiva exterior, somos de imediato levados a encarar a economia como um sistema complexo. Em termos de teoria dos grafos, passamos a ter estruturas tipo grafos aleatórios, e então as «boas» e «óptimas» propriedade clássicas deixam de se verificar. É o que pode suceder se, por exemplo, os agentes que actuam nos mercados financeiros não possuem o nível de racionalidade que lhes é imputado pela teoria neoclássica, baseando antes o seu comportamento em factores cognitivos como a imitação. Sob esse ponto de vista, a teoria dos sistemas complexos não designa qualquer mecanismo de optimização. Atendendo à ideologia comunicacional moderna, é interessante verificar que muitos modelos dos sistemas sociais complexos abandonam quase completamente qualquer imputação de racionalidade aos agentes. Não deixa de ser irónico constatar que, pelo menos nalguns casos, os modelos dos sistemas complexos tendem a imputar aos agentes comportamentos absolutamente «primários» – idiotas, no limite!

Mais, se aceitarmos a teoria de R. Girard como uma parte da teoria de sistemas complexos, conclui-se que a emergência de uma entidade exterior a todos os indivíduos quando o sistema se encontra em estado crítico (um bode expiatório) nada tem de «bom», sendo precisamente o *bloqueamento da comunicação* entre os indivíduos que pode impedir o surgimento de tais figuras. Mais exactamente, também essa teoria supõe que os indivíduos são conduzidos pela imitação, sendo esse tipo de interacção que gera os supostos «todos colectivos» bem como as *ideologias*. Pode ainda afirmar-se que na medida em que os indivíduos se imitam, na medida em que os indivíduos tendem a ficar alinhados quando se atravessam certas situações críticas, e na medida em que o sistema se

encontra nessas situações extremamente sensível a qualquer pequena perturbação, a orientação geral *tanto pode ser* para algo que estimamos como «bom» como para algo que estimamos «mau». Depende apenas da direcção que a perturbação inicial aleatória tomou...

A teoria dos fenómenos críticos e a teoria dos grafos permite estudar a própria região de transição crítica entre ordem e desordem. Essa região foi designada por «fronteira do caos» (cf. a descrição no livro de divulgação de Waldrop, 1992). Existem muitos sistemas que indiscutivelmente se mantêm nessa região (cf. Bak, 1996, para diversos exemplos). Nos casos analisados nas secções anteriores, os grafos tipo «mundo-pequeno» representam uma transição de fase entre ordem e desordem. Os grafos do modelo de Barabási e *al* formam também um «mundo-pequeno» e, além disso, exibem propriedades invariantes por mudança de escala, uma característica distintiva dos sistemas residindo na «fronteira do caos». Mais em geral, autores como C. Langton (Langton, 1991) e S. Kauffman, e sua posterior popularização (Waldrop, 1992, Kelly, 1995), argumentaram que esses sistemas seriam plenamente optimizadores. Por exemplo, seria nessa região de «fronteira do caos» que a comunicação seria mais complexa mas ao mesmo tempo mais eficaz – nessa região os elementos dos sistemas comunicam todos uns com os outros.

Se essa optimização pode eventualmente ser real em alguns sistemas naturais, não deixa de ser ilusório fazer uma transposição para o «socialmente melhor». Se um grafo tipo «mundo pequeno» permite efectivamente «encurtar as distâncias», já é contudo questionável saber se essa diminuição do diâmetro de um sistema é algo bom ou mau. Como sempre sucede, as teorias científicas são indiferentes a esses dois termos da alternativa. Será que as estruturas em rede devem ser «mundos-pequenos» proporcionando a rápida propagação de uma notícia? Depende de um juízo exterior acerca da notícia. Será que é bom existir uma estrutura adequada à rápida propagação de um vírus? Depende do vírus, e podemos pensar em certos vírus sociais como aqueles que levam ao *crash* de um mercado financeiro, para não referir exemplos históricos de consequência ainda mais nocivas. Em si mesma, a teoria nada diz acerca disso. A teoria só apontaria para algo «bom» se a ela for adicionada, por exemplo, a premissa ulterior segundo a qual comunicar é algo intrinsecamente bom. Mas existe algum suporte para uma tal ideia? Talvez que própria *propagação* dessa ideia não tenha tido origem em indivíduos racionais e independentes que após aprofundada deliberação chegaram a uma tal conclusão, mas antes no mecanismo que a ideia ela própria tenta ocultar: a adesão por imitação à opinião mais divulgada.

O que nos permite uma última linha de raciocínio. De acordo com o modelo de Barabási e *al*, os grafos sem escala característica são gerados pelo mecanismo de ligação preferencial ao *site* que ele próprio já está mais ligado. O modelo pode naturalmente ser aperfeiçoado, mas indica claramente, uma vez mais, que os sistemas auto-organizados não se estruturam necessariamente segundo algo de bom. Sejamos mais precisos. A ligação preferencial *não* se baseia em qualquer critério *objectivo* acerca do valor intrínseco de um certo *site*. Não se afirma que esse valor não possa existir, e na realidade é possível acrescentar ao modelo um parâmetro que procura representar esse valor intrínseco (cf. Barabási, 2000b). No entanto, na sua formulação original, o modelo apenas afirma que os indivíduos tenderão a criar *links* para os *sites* já mais visíveis através de um processo de retroacção positiva. O modelo mostra ser *perfeitamente concebível* que os motivos que levaram um certo *site* a adquirir maior visibilidade nada têm a ver com um qualquer seu valor intrínseco que o diferencie dos demais.

Na realidade, nesse tipo de processos por retroacção positiva encontra-se presente uma dinâmica que já tinha sido formalmente demonstrada para certos sectores da «nova economia». Referimo-nos ao modelo de Brian Arthur acerca das empresas funcionando em regime de «lucros crescentes» (Arthur, 1987). O exemplo paradigmático são empresas de *software* como a Microsoft, a qual tem lucros crescentes devidos a vários factores, em particular devido às chamadas *externalidades em rede*, princípio segundo o qual o valor de uma rede aumenta exponencialmente com o número de utilizadores. Um exemplo simples e bem conhecido é o sistema operativo Windows: ele é o núcleo de uma rede cujo valor aumenta com o número de aplicações disponíveis para essa plataforma.⁵ Mostra-se então que quanto maior o número de aplicações maior é o número de utilizadores, e assim sucessivamente num processos de mútuo reforço cujo resultado final praticamente inevitável é a formação de um monopólio. Mais, mostra-se que são muitas vezes pequenos factores iniciais aleatórios que levam um certo produto a tornar-se um *standard* no mercado. Note-se que a *imitação* se encontra mais uma vez subjacente ao processo: eu estou a utilizar neste momento o sistema operativo Windows porque outros o utilizaram ou, se se quiser, porque os fabricante tiveram de o pré-instalar – poder-se-ia ir à origem da dinâmica de externalidades em rede e verificar que a imitação é sempre a raiz.

Ora, um adepto intransigente dos princípios neoclássicos da economia tentará desesperadamente mostrar que são apesar de tudo certos factores objectivos (relação qualidade/preço definindo a «utilidade» de cada consumidor individualmente considerado) que determinam que um certo *standard* se imponha, excluindo todos os outros do mercado. Foi, por exemplo, o que tentaram fazer S. Leibowitz e S. Margolis (argumentos disponíveis em <http://www.cato.org/pubs/regulation/reg18n3d.html>). Mas deve-se permanecer indiferente a esses esforços. Se, por exemplo, o sistema operativo Ms-Dos era de facto melhor que os outros sistemas operativos para PC (o que, em todo o caso, é duvidoso), isso é *irrelevante* do ponto de vista da sua adopção: não foi por ser melhor ou pior que ele foi adaptado, mas sim devido à dinâmica de externalidades em rede. E o facto de um *standard* se tornar dominante deve-se em muitos casos a factores aleatórios que nada têm a ver com a suposta qualidade do produto em questão. Esses factores levam o sistema a seguir um certo caminho (*path-dependance*), mas um outro teria sido igualmente possível. Se, de entre os caminhos possíveis, aquele que corresponde ao melhor produto foi efectivamente seguido isso em nada se deve a factores objectivos. É devido à dinâmica de externalidades em rede que os indivíduos são forçados a imitarem-se uns aos outros e a fazer emergir um certo *standard* dominante. Assim sendo, nas redes complexas não é a definição prévia de uma certa característica globalmente óptima que é efectivamente responsável pela dinâmica evolutiva do processo. Essa característica apenas surge *a posteriori* através de um esforço de racionalização de um processo que escapa ao controlo de qualquer indivíduo.

Referências Bibliográficas

Adamic, L., Huberman, B., (1999), Technical comment to «Emergence of Scaling in Random Networks», *Science*, Vol. 286, 15, pp. 509-512.

⁵ Apesar de não conhecermos qualquer estudo nesse sentido, talvez não seja demasiado especulativo conjecturar que uma análise da rede em que a Microsoft está inserida (empresas que colaboram para a sua plataforma, acordos visando a complementaridade de produtos, etc.) revelaria que estamos perante um «mundo-pequeno».

- Alves, C., Machuco Rosa, A., Antão, A. N., «Distributed Causation and Emergence in Finite Models», *Interact*, <http://www.cecl.pt/interact/index.html>.
- Arthur, W. B., Durlauf, S., Lane, D., (1997), *The Economy as an Evolving Complex System II*, Addison-Wesley, Reading.
- Arthur, W. B., (1987), «Self-Reinforcing Mechanisms in Economics», in *The Economy as an Evolving Complex System*, P. Anderson e al (eds), Addison-Wesley, Redwood, pp. 9-32.
- Bak, P., (1996), *How Nature Works*, Springer, New York.
- Barabási, A., Albert, R., (1999a), «Emergence of Scaling in Random Networks», *Science* 286, 509-511.
- Barabási, A., Réka, A., Jeong, H., (1999b), «Mean-field theory for scale-free random networks», *Physica A* 272, pp. 173-187.
- Barabási, A., Bianconi, G., (2000b), *Competition and multisaling in evolving networks*, arXiv:cond-mat/0011029
- Bollabás, B., (1985), *Random Graphs*, Academic Press, Londres.
- Bunde, A., Havlin, S., (eds), (1996), *Fractals and Disordered Systems*, Springer, Berlin.
- Camara, P., (1996), *Organização & Desenvolvimento de Empresas*, D. Quixote, Lisboa.
- Casti, J., (1994), *Complexification*, HarperCollins, Nova Iorque.
- Cont, R. e Bouchaud, J.-P., (1997), «Herd behavior and aggregate fluctuations in financial markets», arXiv:cond-mat/12318 v2.
- Dupuy, J.-P., (1992), *Introduction Aux Sciences Sociales – Logique des Phénomènes Collectifs*, Ellipses, Paris.
- Erdos, P., Renyi, A., (1960), «On the Evolution of Random Graphs», *Publications of the Mathematical Institute of the Hungarian Academy of Sciences*, 5, pp. 17-61.
- Farmer, D., (1999), «Physicists Attempt to Scale the Ivory Towers of Finance», *Computing in Science and Engineering*, 1, pp. 26-39.
- Fisher, M., (1983), *Scaling, Universality and Renormalization Group Theory*, Springer, Berlin.
- Girard, R., (1972), *La Violence et le Sacré*, Grasset, Paris.
- Kauffman, S., (1995), *At Home in the Universe – The Search for Laws of Complexity*, Oxford University Press, Oxford.
- Kelly, K., (1995), *Out of Control*, Wesley, Reading.
- Langton, C., (1991), «Life at the edge of chaos», in C. Langton, C. Taylor, J. D. Farmer, e S. Rasmussen (eds), *Artificial Life II*, Addison-Wesley, Reading, pp. 41-91.
- Machuco Rosa, A., (1998), *Internet – Uma História*, E. U. Lusófonas, Lisboa.
- Machuco Rosa, A., (2001) *Sistemas Complexos, Imitação e Gênese das Explicações Míticas*, a publicar.
- Milgram, S., (1967), «The small world problem», *Psychology Today*, 1, 61.
- Réka A., Jeong, H., Barabási, A., (2000) «Attack and error tolerance of complex networks», *Nature*, 378.
- Vasques, A., (2000), *Knowing a network by walking on it: emergence of scaling*, arXiv:cond-mat/0006132 v2.
- Walras, L., (1874), *Éléments d'Économie Politique Pure*, Corbaz, Lausanne.
- Waltrop, M., (1992), *Complexity*, Simon and Schuster, Nova Iorque.
- Watts, D., e Strogatz, S., (1998), «Collective dynamics of small-world networks», *Nature*, 393, pp. 440-442.
- Watts, D., (1999), *Small Worlds – The Dynamics of Networks between Order and Randoness*, Princeton University Press, Princeton.