

Para entender a complexidade das redes

To understand the complexity of networks

LUCIA SANTAELLA

Professora doutora titular do Programa de estudos pós-graduados em Tecnologias da Inteligência e Design Digital (PUC-SP). São Paulo, SP, Brasil.
<lbraga@pucsp.br>

TARCÍSIO CARDOSO

Pesquisador doutorando do Programa de estudos pós-graduados em Tecnologias da Inteligência e Design Digital (PUC-SP). São Paulo, SP, Brasil.
<tscardoso@gmail.com>

RESUMO

O interesse dos estudos de redes sociais e práticas colaborativas na internet tem sido recorrente na *Revista Famecos*, que conta, por exemplo, com sete artigos sobre o tema apenas nos anos de 2012 e 2013. Tendo em vista contribuir para esses estudos, o presente trabalho toma o modelo da teoria das redes (Barabási, 2009) e a teoria do Ator-Rede (Latour, 2012) como base para a inserção das redes booleanas e o *modelo NK* (Kauffman, 1993) nesse cenário. A contribuição visa à compreensão das formas de evolução das redes à luz dos processos de auto-organização. Isto se torna particularmente interessante se lembrarmos que redes sociais são sistemas dinâmicos em constante mutação.

PALAVRAS-CHAVE: Redes. Stuart Kauffman. *Modelo NK*.

ABSTRACT

The interest in studies on social networks and collaborative practices on the internet has been recurrent in *Famecos*, which has published seven articles on the topic only in 2012 and 2013. To contribute to these studies, this paper takes Barabási's (2009) theory of networks and Latour's (2012) Actor-Network theory as a basis for the integration of boolean networks and Kauffman's *NK model* in this scenario. The paper aims at understanding the forms of network evolution in the light of the processes of self-organization. This becomes particularly interesting if we remember that social networks are dynamic systems in constant change.

KEYWORDS: Networks. Stuart Kauffman. *NK model*.

O *modelo NK*, de Stuart Kauffman (1993), que trata da emergência de ordem nas redes booleanas, é ainda bastante atual e com aplicações em diversas áreas, especialmente nos estudos relacionados à complexidade que, cada vez mais, se utilizam de teorias das redes para esclarecer o caráter multifacetado de fenômenos instáveis. Acredita-se que, se aliado a outros estudos sobre redes, o modelo de Kauffman (1993) pode ter muito a revelar sobre a dinâmica da auto-organização em redes sociais, em geral, e em redes sociais de internet, em específico.

Nas investigações sobre os efeitos culturais das redes sociais na internet, já se tornou lugar-comum a caracterização do campo em termos de complexidade. Sob diversas faces complementares às ideias de inteligência coletiva (Lévy, 1994), interação multimodal (Santaella e Lemos, 2010), intemporalidade (Castells, 1999), virtualidade real (Castells, 1999), topologias e dinâmicas (Recuero, 2009, 2012), mídia pós-massiva (Lemos, 2007), convergência midiática (Jenkins, 2008) etc., a internet tem sido entendida como uma espécie de organismo reticular hiperconectado, coletivamente construído e altamente complexo. O que se pretende enfatizar aqui é o fato de os sistemas complexos, em geral, e a internet, em particular, serem fruto de um processo de evolução de organismos mais simples para mais complexos, processo este que não ocorre de modo uniforme nem é destituído de padrões. Há, isto sim, um momento crucial de surgimento espontâneo de ordem que merece atenção, pois é aí que se configura o arranjo estrutural do novo sistema.

Por um prisma metodológico pautado na lógica das redes, este estudo irá buscar nas redes *booleanas*, tal como apresentadas por Kauffman (1993), um modelo que tem sido pouco lembrado para estudar o mecanismo de geração espontânea de ordem em sistemas sociais reticulares mediados por dispositivos computacionais. Entretanto, nosso objetivo se restringe a apresentar o *modelo NK* e discutir as diferenças entre tal modelo e alguns modelos existentes. As questões com as quais devemos lidar são

bastante abstratas. Pergunta-se, para começar, o que faz com que conjuntos articulados de muitos elementos heterogêneos, com humanos e seus dispositivos técnicos, mantenham-se em conjunção, de modo a produzir novas sociabilidades.

Entendendo a ideia de adaptação como uma função entre estabilidade e fluidez, é de se esperar que a inclusão do modelo teórico de Kauffman (1993) possa abrir um debate sobre o modo pelo qual as redes sociais se organizam a partir de seus próprios elementos constituintes, e sobre o modo pelo qual elas podem ser consistentes sem necessariamente serem rígidas. A ideia central aqui proposta diz respeito ao mecanismo de resiliência de um sistema reticular, que dê conta de explicar como elementos heterogêneos se articulam de modo a formar uma associação com organização.

Objetivos

Sabe-se que um sistema multiagente, pautado pela distribuição de tarefas, pelo encontro entre análise e síntese e pelas tomadas de decisão em todas as escalas, difere de um sistema agente, pois aquele diz respeito a um conjunto de entidades inteligentes que se coordenam cooperativamente para poder atingir objetivos comuns. As redes sociais digitais muitas vezes exibem comportamentos desse tipo. Entendê-los depende de uma série de esforços capazes de traduzir os fatos do dia a dia para um modelo mental simples em estrutura e abrangente na sua aplicação. Embora redutores da complexidade, os modelos formais são importantes instrumentos para tornar inteligível o que parece caótico e sem sentido. Desse modo, levam à compreensão daquilo que permite que, em sistemas reticulares, as articulações se mantenham em conjunção, o que as enfraquecem, o que as fortalecem e quais propriedades emergem dessa conjunção. Sendo sistemas complexos auto-organizados, a evolução das redes sociais digitais ocorre de acordo com alguns princípios gerais abstratos que

permitem entender o surgimento da organização nas redes sociais e suas práticas comunicacionais colaborativas. Por isso, buscamos um modelo que dê conta de traduzir processos capazes de descrever as condições em que ocorre o surgimento de ordem. No confronto dos estudos sobre teoria das redes (Barabási, 2009) e da teoria do ator-rede (de Latour, 2012), com a teoria de Kauffman (1993), também pretendemos fomentar o pensamento epistêmico reticular relativo a sistemas complexos, conforme proposta de Di Felice (2012).

O social reticular, proposto por Di Felice (2012), parece dizer respeito a um ambiente de interação entre cultura, sociedade, tecnologia da informação e serviços web sem centro bem definido, mas funcionando em uma espécie de estrutura rizomática (Deleuze, 1995), cuja inteligência coletiva distribuída (Lévy, 1994) engendra um organismo hipercomplexo auto-organizado. Muitas teorias tentam traduzir esse universo. Seleccionamos duas delas.

Teoria das Redes, de Barabási

No livro *Linked: a nova ciência dos networks, como tudo está conectado a tudo e o que isso significa para os negócios, relações sociais e ciências* (Barabási, 2009), é defendida a tese sobre os benefícios das desigualdades internas da rede, pelo menos no que tange às redes sociais e à formação de uma topologia por conectores (*hubs*). A internet é entendida como uma rede complexa auto-organizada e sem escala, isto é, uma rede com ausência de nós igualitários.

O autor afirma haver uma *conexão preferencial* (*chamada de ricos ficam mais ricos*) para cada novo nó adicionado na rede. Tal conexão preferencial é expressa pelo produto do número de *links* com a aptidão do nó. Por meio dessa ideia, é possível entender que a conectividade do nó possui um expoente dinâmico (que mede a rapidez com que cada nó capta novos *links*). Portanto, o desenvolvimento da rede deve ser desigual, o

que tende a gerar redes não uniformes e variáveis no tempo. Mas a ideia de rede não uniforme é insuficiente para expressar a tipologia das redes possíveis.

Por isto, Barabási (2009) classifica os tipos de rede em: *rede randômica* (caótica), *rede sem escala* e *rede hierárquica* (modular). As redes randômicas são aquelas cujo número de conexões é excessivo e aleatório, o que inviabiliza a existência de dispositivos de controle, ou seja, *hubs*, nós com muitas conexões relevantes que conectam *clusters*, isto é, aglomerados ou regiões, espaços de estados com muitas conexões. Por possuírem baixa *clusterização*, as redes randômicas não criam campos de comportamentos distintos, e possuem caminhos curtos, o que significa um encurtamento de distâncias entre os nós.

A definição de redes sem escala depende do conceito de robustez. Este é entendido como resiliência de um sistema reticular que diz respeito a uma desigualdade estrutural da rede, guardando uma relação com o número crítico de nós, relativo ao tipo de rede em questão. Na biologia ou mesmo na psicologia, resiliência é um termo usado para expressar a capacidade de um indivíduo para lidar com problemas, superar obstáculos ou resistir à pressão de situações adversas – como o choque ou estresse – sem entrar em colapso ou surto. Em teoria das redes, essa capacidade está intrinsecamente ligada à capacidade que uma rede tem de resistir a ataques, e tal capacidade é proporcional ao grau de descentralização da rede.

Desse modo, as redes sem escala são assim chamadas por não possuírem um nó característico, ou seja, as escalas micro e macro não possuem as mesmas propriedades – possuem uma maior robustez, pois se desenvolvem com base em um mecanismo de acumulação de vantagem, gerando uma conexão preferencial entre os novos nós. Essas redes apresentam alta clusterização, e um baixo comprimento de caminhos (distância curta entre dois pontos quaisquer). Essas características são extremamente benéficas para a existência da própria rede, pois aumentam a robustez contra falhas

em alguns pontos (Barabási e outros, 2003, p. 52). Finalmente, as redes hierárquicas (modulares) possuem alta clusterização e uma grande extensão de caminhos, o que as torna desinteressantes, pois do ponto de vista da circulação da informação, ela é uma rede lenta e rígida demais.

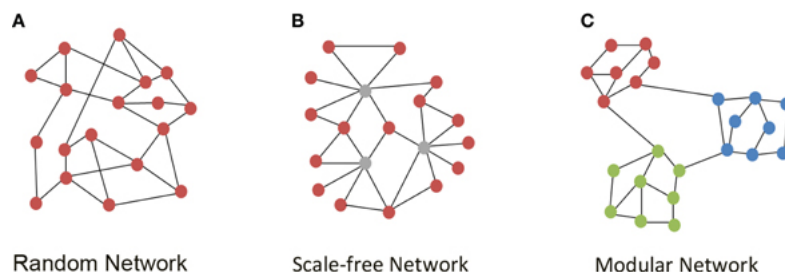


Figura 1 – diagrama de redes randômicas, redes sem escala e redes modulares, respectivamente

A partir dos padrões básicos recorrentes e dissidentes nos diversos tipos rede, fica clara a presença de uma gradação, em termos de complexidade. As redes modulares são pouco complexas, seus caminhos são longos, o que as tornam lentas demais, atrapalhando os fluxos (trocas) informacionais. Já as redes randômicas são complexas demais, possuem caminhos curtos, o que aumenta as trocas de informação, mas não possuem *clusters* (aglomerados) suficientes, o que as torna demasiado caóticas – e o excessivo e descontrolado fluxo de informação faz com que elas propaguem qualquer sinal com erro, sem possibilidade de domínio, tendendo à desintegração do sistema. Entre esses dois extremos, estão as redes sem escala, complexas o suficiente para permitir fluxos rápidos, e *clusterizadas* o suficiente, de modo a constituir padrões de

comportamento organizados alternativos. Aqui, seria lícito indagar sobre o modo como ocorre a passagem de um estágio para outro da rede, quais as condições em que existe a auto-organização e sob quais circunstâncias se dá esse surgimento inesperado de ordem. Mas o livro não fornece qualquer pista que vá nessa direção.

A Teoria do Ator-Rede, de Latour

Ao descrever o mecanismo interativo e associativo de todo agregado que se possa chamar de *social*, Bruno Latour, em seu livro *Reagregando o social: uma introdução à Teoria do Ator-Rede* (2012), explica a teoria do ator-rede como uma espécie de tratado da sociologia das associações. O ponto de partida está em realizar uma diferenciação nas definições possíveis de *sociologia*, a partir do radical *socius*, que quer dizer social ou associação. Segundo ele, a sociologia pode ser entendida tanto como o estudo do social (ideia de homogêneo, do que há de comum no múltiplo) quanto como o estudo das associações (ideia do heterogêneo, do que há de múltiplo como relações diversas). Sua teoria se concentra nesta última abordagem. Neste sentido, Latour propõe estudar não uma *coisa*, mas um tipo de conexão entre *coisas* (Latour, 2012, p. 23), colocando, assim, as associações em evidência.

A ideia de grupo do autor tem íntima relação com o conceito de produto das associações. Grupo, para ele, não são *coisas* silenciosas, mas o que resulta de vozes contraditórias. Através dessas ideias, Latour (2012) declara seu interesse pela transitoriedade, chegando a dizer que não existe sequer o *social*, mas apenas mudanças de conexões entre recursos não-sociais. “É pela comparação com outros vínculos concorrentes que se enfatiza um vínculo” (Latour, 2012, p. 56).

Para deixar claro seu ousado posicionamento teórico, Latour (2012) se opõe a muitas teses vigentes nas ciências sociais. Uma distinção notável é aquela que se estabelece entre a ideia de intermediário (aquele que transporta significado sem transformá-lo) e

mediador (aquele para quem o sinal que entra não determina o que sai, pois há um *ator* no meio, que traduz, modifica, distorce o significado). A ênfase da abordagem está no mediador, pois ele não é um realizador de um potencial prévio (determinístico), é mais que isso. Ele *atualiza virtualidades* (torna próximo o distante), não realiza meramente eventos (previstos), mas também opera inovações.

Aqui Latour substitui a ideia de causa pela ideia de *actante*, tipo de mediador que opera eventos de modo autônomo. Algo que *leva a*, que atua, que irrompe. A ideia de *actante* tem a vantagem etimológica de se diferenciar daquela de *ator* por não ser centrada em nenhum sujeito, mas apenas no produto de um grupo de elementos postos em funcionamento conjuntamente. Esse funcionalismo extremado, capaz de anunciar indistinção funcional entre sujeito/objeto, na medida em que ambos são produtores de resultados, faz da Teoria do Ator-Rede uma ousada Teoria das Redes. Nela, tudo o que resta do ponto de vista funcional para compreender uma rede é mapear a topologia do agregado e esclarecer as propriedades das associações quando estão em atividade conjunta.

Os elementos que formam essa rede, os *actantes*, exercem uma dupla função: de inscrição e tradução, em que as primeiras são uma espécie de registro na rede e as segundas uma espécie de alteração na rede. Assim, o próprio conceito de rede pode ser revisto e entendido como aquilo que emerge das relações de tradução.

Se a rede for o resultado da associação, daquilo que se realiza conjuntamente a partir do que deixa rastro, as dimensões tecnológicas e sociais da internet, como um universo de sobreposições de redes, podem ser entendidas não apenas em sua essência interior, mas principalmente em sua manifestação resultante, naquilo que é realizado sistemicamente. Nestes termos, a Teoria do Ator-Rede, de Latour (2012), aproxima-se muito da própria ideia de rede social. Por isso, segundo Santaella e Lemos (2010, p. 32), a teoria de Latour (2012) é apropriada para estudar as redes sociais, especialmente as digitais.

O estudo das redes sociais pela sociologia, iniciado pela Análise Estrutural de Degenne e Forsé, origina-se justamente de um olhar sistêmico para as redes, de modo a captar não as individualidades, mas a identidade social da rede como um todo (Recuero, 2004). As relações sociais, os laços sociais que emergem daí, a ideia de multiplexidade (relativo ao número de laços sociais de um elemento) e a composição (propriedades) dos laços são esclarecidas em um estudo estrutural sobre redes sociais. Como bem lembra Recuero (2004), tais estudos têm o mérito de focar nas interações, entendidas como o fundamento das redes sociais.

A ideia de sistema distribuído parece ser mais do que uma metáfora para as redes sociais digitais, pois aí se encontra a principal diferença entre as redes que exibem características adaptativas e as que não as possuem. De acordo com Santaella e Lemos (2010), tais redes se pautam na ausência de controle centralizado imposto, na natureza autônoma das subunidades, na alta conectividade entre as subunidades e na causalidade em rede não linear. Vale ressaltar que a ausência de um controle centralizado imposto não quer dizer ausência de controle descentralizado emergente. Que tal distinção fique clara é importante para as consequências, em termos de auto-organização, que o modelo de Kauffman (1993) irá sugerir para um engendramento de dispositivos de controle internamente constituídos, responsáveis pela manutenção do próprio sistema, em estado crítico.

O modelo NK e as redes booleanas, de Kauffman

Em seu livro *Origins of order: Self-organization and selection in evolution* (1993), Kauffman trabalha com o tema da auto-organização em sistemas complexos, extraíndo consequências importantes para todas as áreas das ciências, com destaque para a biologia, física e matemática. Seu objetivo inicial é compreender se as estruturas adaptativas permitem chegar a conclusões acerca dos mecanismos que regulam uma

paisagem ótima, em termos de acidentalidade das curvas. Para tal intento, o autor desenvolve o modelo *NK*, descrito a seguir:

“

Agora, introduzo um modelo formal simples de uma paisagem adaptativa acidentada, chamado modelo NK. Neste modelo, N se refere ao número de partes de um sistema – genes em um genótipo, aminoácido em uma proteína [etc.]. Cada parte exerce uma contribuição adaptativa que depende dessa mesma parte e de K outras partes entre N. Isto é, K reflete a riqueza do acoplamento cruzado de um sistema. Em termos genéticos, K mede a riqueza das interações epistáticas entre os componentes do sistema.”

(Kauffman, 1993, p. 40)

Sabendo-se que *interações epistáticas* é uma expressão da biologia que se refere à interação entre genes, pode-se estendê-la à ideia geral de *conexão*, uma vez que o modelo *NK* não necessariamente deve se restringir à genética. Para estudar redes, podemos tomar *N* como o número de componentes da rede (nós), e *K* como o número de conexões (*links*) entre estes *N* componentes. Kauffman (1993) fornece exemplos em redes *booleanas*. Estas são redes que, especialmente por conta das comutações *booleanas* (Kauffman, 1993, p. 182), têm importância central na construção de modelos de mecânica estatística, principalmente porque são ótimas ferramentas para lidar com problemas complexos, que podem conter milhares de variáveis acopladas e também porque, para muitos sistemas, a idealização *booleana on-off* é a maneira mais precisa de estabelecer o comportamento não-linear de seus componentes.

Com o estudo das redes *booleanas*, geradas aleatoriamente, é possível identificar quando um comportamento ordenado emerge do sistema através de um processamento paralelo.

“

Aqui eu sintetizo o comportamento das redes booleanas como funções de N , o número de elementos em uma rede; K , o número médio de entradas para cada elemento da rede; e P , que mede uma tendência particular no subconjunto de possíveis funções booleanas usadas na rede. Descobrimos que na medida em que K decresce de N para 1, uma fase de transição ocorre quando $K=2$. Para $K>2$, o comportamento é caótico. Quando $K=2$, a ordem se cristaliza. A mesma transição de fases do caos para a ordem ocorre quando P é levemente alterado.”

(Kauffman, 1993, p. 192)

Chama-se *estado* do sistema a sua configuração de valores (como 0 ou 1) em um tempo t . Em um dado momento, cada elemento deve assumir um valor binário, estabelecido de acordo com uma função *booleana*, a depender dos outros elementos aos quais estiver conectado. As funções (ou regras) *booleanas* e as conexões entre elementos, de início, são escolhidas aleatoriamente, de modo que existirão regras (funções) booleanas. Portanto, para $K=2$, existirão dezesseis funções possíveis (Brzozowski, 2007, p. 29-30).

Para ilustrar uma rede *booleana*, Kauffman (1993, p. 189) constroi diagramas para uma rede com $N=3$ e $K=2$. Para essa rede, se for fornecida uma condição inicial como, por exemplo, $(ABC)=(0,0,1)$ em $t=0$, o estado seguinte pode ser determinado a partir da

tabela de verdade de cada elemento. O conjunto de estados possíveis é chamado *espaço de estados*, seu tamanho é o que, no caso, é igual a 8 (oito). Abaixo, seguem exemplos de diagrama dessa rede *booleana* a partir de uma simulação de tabela de valores nos tempos t e $t+1$.

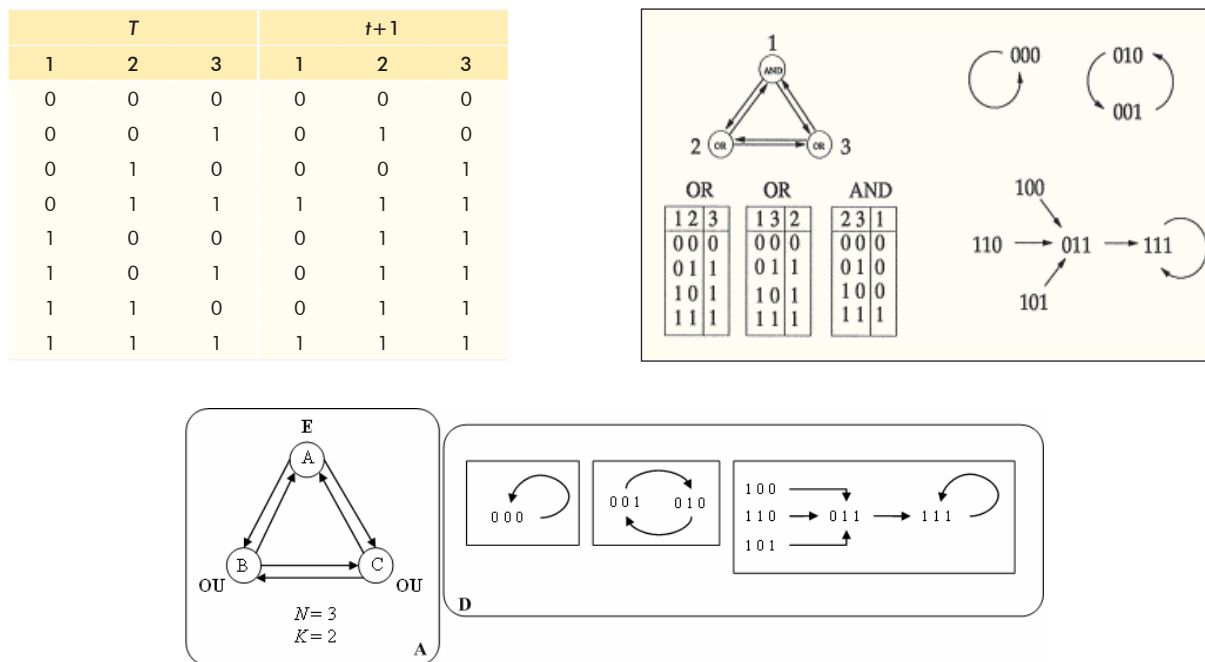


Figura 2 – Rede *booleana* baseada no modelo abstrato de Kauffman (1993, p. 189) e Brzozowski (2007, p. 30)

No diagrama, cada mudança de estado (representada pelas setas) depende da tabela de verdade da função *booleana e (and)* ou *ou (or)*. Como o sistema é determinístico, isto é, para cada estado só há um sucessor possível, cada mudança de estado tem a mesma trajetória de transição entre o primeiro e o segundo. Por exemplo: do estado (001) só se pode chegar ao estado (010). Assim, após algumas mudanças de estado, o sistema pode encontrar um estado cíclico, denominado *atrator dinâmico* (Kauffman, 1993), que drena para si diversas trajetórias. Pode acontecer perfeitamente que esse atrator dinâmico seja um conjunto de estados, de modo que o sistema, após algumas mudanças de estado, chegue a um estado cujo sucessor seja um dos estados anteriores, fazendo o sistema entrar em *loop* (laço), realizando um ciclo com mais de uma fase. De qualquer modo, a bacia de atração encontrará um ciclo-limite. Nos exemplos acima (tanto no da esquerda quanto no da direita), existem três atratores: dois atratores simples (000), (111); e um ciclo-limite composto por dois estados (010) \leftrightarrow (001).

O gráfico de transformação de estados, mostrado na Figura 2, é chamado de *campo de comportamento*. Tal gráfico exprime as trajetórias possíveis de modo a formar três percursos distintos, chamados *padrões assintóticos recorrentes alternativos* (ou comportamento alternativo assintótico permanente) das atividades dos elementos da rede. No campo de comportamento do exemplo acima, existem três percursos completos possíveis (demarcados, em D, pelos retângulos).

Entregue a si mesmo, o sistema sempre deverá entrar em um dos padrões assintóticos disponíveis e ali permanecer. Kauffman (1993) descobriu que a estabilidade dinâmica do sistema pode ser medida pela sua capacidade de variar de um padrão a outro, a partir de perturbações mínimas.



A estabilidade dos atratores a perturbações mínimas podem diferir. Uma perturbação mínima em uma rede booleana consiste em uma inversão transitória da atividade de um elemento ao estado oposto. [...] Inversão transitória de um elemento para um estado ativo [...] faz o sistema se mover para uma das duas bacias de atração. Portanto, o estado (000) é estável a qualquer perturbação. Em contraste, o terceiro ciclo de estado é também um estado estável (111), mas ele permanece na mesma bacia de atração para qualquer perturbação (011), (101) ou (110). Portanto, este atrator é estável a todas as perturbações mínimas possíveis.”

(Kauffman, 1993, p. 190)

É interessante notar que os estudos de Kauffman (1993) apontam para um momento de emergência de ordem, pois, a partir das ideias de campo de comportamento, padrões assintóticos recorrentes e atratores dinâmicos, “redes booleanas, coordenando atividades mútuas de milhares de elementos, podem produzir dinâmicas bastante ordenadas” (Kauffman, 1993, p. 192). Isto quer dizer que é possível identificar padrões no surgimento da ordem de qualquer sistema com base em uma rede booleana. Kauffman (1993) encontrou o momento de emergência de ordem quando $K=2$. Isto é, ocorre um surgimento espontâneo de ordem, em qualquer sistema em funcionamento, quando há exatamente duas conexões para cada elemento da rede. Entretanto, cabe antes esclarecer os demais tipos de comportamento sistêmico das redes com diferentes valores para K (conexões).

K=1: Sistema em regime ordenado

Nesse tipo de rede, cada elemento tem apenas uma única conexão com outro elemento. Assim, a estrutura resultante da rede se caracteriza por uma fragmentação

e um isolamento. Se forem associadas conexões ao acaso, a maioria dos elementos residiria em uma extremidade, impedindo um comportamento dinâmico controlado. Esta estrutura modular possui um enorme número de atratores (sistema ordenado), mas, sem possibilidade dinâmica, eles permanecem em um profundo isolamento.

$K=n^1$: Sistema enorme (caótico)

Nesse tipo de rede, a desordem é máxima, uma vez que cada elemento recebe dados de todos os outros elementos. De fato, as funções *booleanas* dos elementos estão todas contidas em uma única função maior, da qual elas são restrições. Para esse sistema maior, o sucessor de cada “estado” pode ser qualquer nó da rede, por isso, este conjunto é chamado de modelo de mapa randômico e seu atrator é exponencialmente caótico. Essa rede exibe também uma sensibilidade máxima, de modo que, para cada perturbação na rede, todos os elementos serão virtualmente afetados, e de modo quase que instantâneo. Apesar desse comportamento caótico, Kauffman (1993) lembra que o número de ciclos da bacia de atração é relativamente baixo, o que é um índice de ordem mesmo em um sistema complexo extremamente desordenado.

$K \geq 5$: Sistema com homogeneidade em suas funções booleanas

Enquanto um dos únicos índices de ordem da rede com $K=N$ é o baixo número de atratores, em uma rede com *homogeneidade interna* P , com $K \geq 5$, há um aumento exponencial do número de atratores (índice de desordem). Opostamente ao efeito da convergência, que faz com que o número de atratores seja menor, nas redes com $K \geq 5$ há uma divergência entre atratores, em que o ciclo tende a ser enorme. A ideia de *homogeneidade interna* (P) pode ser entendida como uma alta prevalência percentual de um valor *booleano* (0 ou 1) sobre o outro em uma rede. “Por exemplo, uma função

booleana com uma homogeneidade interna de 0,8 tem 80% de valor 1 ou 80% de valor 0" (Kauffman, 1993, p. 195).

Assim, se considerarmos uma rede com o máximo de conexões ($K=N$), mas com uma tendência $P=0,8$, de modo que as funções assumam o valor 1 em 80% dos casos, então teremos uma clara preferência por um estado específico (ex: 111111111). Essa rede é chamada de *mapeamento randômico tendencioso*, com tendência P . Essa rede exibe um comportamento extremamente caótico, apresentando um número imenso de atratores, uma enorme sensibilidade, e uma baixíssima estabilidade a perturbações.

K=2: Geração espontânea de ordem

Através de cálculos formais, Kauffman (1993) identificou que, quando há uma média de duas conexões por elemento da rede *booleana* ($K=2$), a estabilidade homeostática é máxima. Isto é, o sistema (necessariamente aberto) consegue, por ações inter-relacionadas, controlar seu dispositivo interno, de modo a manter-se em condição estável, apesar das variações no seu ambiente externo. Além disso, Kauffman (1993) acrescenta que, quando $K=2$, a sensibilidade entre ciclos, após uma perturbação, é mínima. Ou seja, sofrendo o impacto das variações do ambiente, o sistema retorna rapidamente à sua condição original, absorvendo parte dos estímulos e impedindo que eles afetem o sistema como um todo. Algumas consequências podem ser tiradas desse surgimento espontâneo de ordem, quando $K=2$ (Kauffman, 1993).

- Um sistema *booleano* randomicamente agregado com $K=2$ confina espontaneamente seu comportamento dinâmico a um pequeno espaço de estados (índice de ordem).
- O número de atratores do sistema é baixo (\sqrt{N}).

- Muitos atratores têm poucos estados e poucos atratores têm muitos estados (consonância com a lei de Pareto).
- Para 80% a 90% de todas as perturbações, o sistema retorna ao mesmo estado (índice de estabilidade).
- Uma grande fração (cerca de 70%) dos N nós recai sobre os mesmos atratores fixos (ideia de formação de hábito).
- Excluir qualquer elemento singular ou alterar sua função booleana geralmente causa apenas uma mudança modesta nos atratores.

Pode-se concluir que o surgimento espontâneo de ordem em redes com $K=2$ constitui a base para muito do que se observa como comportamento emergente em sistemas complexos autonomamente organizados. Além disso, estes resultados ajudam a compreender o modo pelo qual sistemas complexos com capacidade organizacional conseguem lidar com variações em seus ambientes.

Paralelismo entre teorias de redes e o modelo NK

Como vimos em Barabási (2009), as redes sem escala, diferentemente das redes modulares e das randômicas, são complexas em uma medida intermediária, com menor distância, permitindo fluxos rápidos, e com suficientes aglomerações, de modo a formar padrões de comportamento alternativos. De acordo com o modelo de Kauffman (1993), existe uma condição especial relativa ao número de conexões (K), em que ocorre a passagem de um estágio para outro. Vimos que há um surgimento de ordem quando, de modo geral, o número médio de conexões por elemento é igual a dois.

Podemos então assumir que haja uma gradação entre os níveis de complexidade das redes de Barabási (2009). Entre as redes modulares, as sem escala e as randômicas, há um momento em que as redes estão em sua condição ótima, quando são redes sem

escala. Tal condição é atingida quando o número médio de *links* (K) por elemento daquela rede é 2 (dois)². Se for possível continuar a aumentar o número de conexões, ocorre uma transição para o caos (aleatoriedade), pois os aglomerados começam a se miscigenar, e a rede perde seu coeficiente de *clusterização*.

Não é trivial o fato de uma rede modular poder se converter em uma rede sem escala e uma sem escala poder se tornar uma rede randômica, devido ao aumento expressivo do número de conexões na rede. Mas pode-se acrescentar, agora, às redes sem escala, um esclarecimento quanto ao modo pelo qual ocorre o surgimento espontâneo de ordem em sistemas reticulares. Esse momento não pode se dar nem antes nem depois do número médio de *links* por elemento ser igual a dois. Vale acrescentar que essa fase de transição é sempre próxima do limiar crítico, a partir do qual a rede se desordena novamente, convertendo-se em uma rede randômica.

A emergência de organização (estabilização próxima à borda do caos) deve ocorrer em redes digitais de modo equivalente a qualquer outra rede. Com isso, a teoria das redes, revisitada pela teoria da evolução de Kauffman (1993), atenta a um caráter de auto-organização no limite crítico depois do qual um tipo de rede se converteria em outro. Assim, seria lícito afirmar que as redes *booleanas* do modelo *NK*, dada a sua generalidade, podem contribuir como modelo para representar o surgimento da auto-organização nas redes sociais de internet. Um destes signos, certamente não o único, diz respeito à conectividade média da rede, que define a emergência de ordem, capaz de sugerir visões bastante reveladoras sobre o funcionamento sistêmico em redes dinâmicas.

No que diz respeito à Teoria do Ator-Rede, podemos dizer que o conceito de *actante*, elemento que reconfigura o sistema, tem um papel fundamental na evolução dos sistemas, pois uma vez que o actante exerce uma ação nas funções das associações, acaba por induzir os fluxos da rede a uma mudança de estado. No modelo de

Kauffman (1993), tal mudança de estado pode representar ou não uma mudança no padrão assintótico recorrente. Se a mudança for pequena, provavelmente o ciclo limite dos fluxos será o mesmo e o sistema se manterá na mesma bacia de atração, e o comportamento se mantém inalterado. Já se a mudança for drástica o suficiente para alterar o curso do padrão assintótico de um sistema para outro, ocorrerá uma alteração do campo de comportamento. Essa alteração para um campo de comportamento diverso representa uma capacidade de *escolha* do sistema, que, dotado de padrões recursivos alternativos, é capaz de alternar seu comportamento de acordo com as perturbações sofridas, mantendo-se o mesmo apesar de variações externas, o que é índice de estabilidade do sistema. No entanto, se a mudança provocada for grande demais, podem ocorrer alterações nas próprias funções e no desenho do sistema (mutação), o que torna o sistema um outro, de modo irreversível.

Ainda com Latour (2012), podemos retomar a ideia de que todo actante é um tradutor, um mecanismo que vai além da ideia de transmissão de informação, causando em menor ou maior escala uma alteração na rede. Mais ainda, dentro de um contexto funcional do ator-rede, cada nó representa uma possível inscrição nova, como se não só a função *booleana* dos nós determinasse a forma do conjunto, mas também a própria dinâmica da rede pudesse alterar as funções de cada nó. Neste sentido, um ator-rede como um mecanismo vivo é também uma rede-ator, e a evolução do conjunto *refuncionaliza* as suas partes. No modelo *NK*, esta espécie de auto-organização aparece na ideia de homeostase, expressão de que, do ponto de vista da dinâmica do todo, a refuncionalização das partes é entendida como uma vantagem adaptativa, que permite ao sistema aumentar a sua resiliência.

Vale lembrar ainda que a evolução da rede na teoria de Latour (2012) ocorre em consonância com o número de novos atores que uma associação agrega. “Assim, um ator-rede, que não é necessariamente um indivíduo, mas pode ser um coletivo, está

sujeito a crescer e sua importância depende do número de atores que é capaz de atrair” (Santaella e Lemos, 2010, p. 51). Essa ideia tem íntima relação com a ideia de conexão preferencial e com a formação de *hubs* (Barabási, 2009), como foi visto anteriormente. Mas, além de tudo, tem relação direta com a formação de uma bacia de atração, pois quanto mais conexões entre um elemento e seus pares, mais facilmente ocorre uma *clusterização*, e quanto mais *clusterização*, mais facilmente o sistema chega a estágios mais distribuídos, reduzindo consideravelmente as distâncias da rede (formando *mundos pequenos*, na nomenclatura de Barabási). Vale lembrar que um pequeno número de atratores e bacias de atração de grandes dimensões indicam o que Kauffman (1993) chama de emergência de ordem em sistemas complexos longe do equilíbrio.

Nem toda rede é propícia ao surgimento da auto-organização como um produto de inteligência coletiva. Conforme Lévy (1994), já havia apresentado, as redes podem ser organizadas por imposição externa (grupos organizados ou molares) ou por mecanismos internos (sendo auto-organizadas ou moleculares). A emergência de ordem referida aqui está mais próxima do segundo tipo, pois a partir de interações com o ambiente externo, algumas redes com determinadas propriedades (como a proporção entre a quantidade de elementos e o número de conexões) produzem uma nova organização de seus mecanismos internos.

Neste sentido, se os atratores dinâmicos, que governam os campos de comportamento do sistema, estiverem confinados em um pequeno espaço de estados, fazendo com que os padrões assintóticos recorrentes alternativos funcionem como *opções* para perturbações exteriores, esse sistema reticular pode ser dito organizado. Se a relação entre o externo e o interno produzir uma configuração desse tipo, e se o número de conexão por elemento for ótimo (ex: $K=2$), esse sistema deverá ser auto-organizado, pois há ali a emergência de dispositivos de controle não impostos, mas internamente engendrados.

Cabe, para concluir, uma breve sugestão sobre como esses modelos podem contribuir para os estudos das redes sociais digitais na internet. Este trabalho não teve o objetivo de aplicar tais modelos nas redes sociais, mas sim o de confrontar modelos para ajudar outros trabalhos a aplicá-los ou não em estudos de caso. Podemos adiantar, por exemplo, que quando as ideias de Kauffman (1993) forem confrontadas diretamente com o universo das redes sociais digitais, um dos evidentes paradoxos diz respeito ao número de conexão (K) ser baixo demais (igual a dois) para o surgimento da auto-organização. Sabe-se que as redes sociais digitais possuem um número enorme de conexões. Usuários do *Facebook* chegam facilmente a 1.000 (mil) amigos na sua rede, o que, em termos *kauffmanianos* caracterizam muito mais as redes caóticas. Entretanto, vale lembrar que um sistema como o *Facebook* (mídia social, e não rede social) não começa já com os usuários altamente conectados, mas com nenhum usuário cadastrado e/ou conectado.

Do ponto de vista da formação de uma rede social, é necessário que os usuários comecem a se conectar uns com os outros, e tal rede depende de que haja mais do que uma conexão por usuário. Portanto, podemos dizer que a rede social (no sentido de rede auto-organizada) surge quando o número de conexões por usuário ultrapassa o número um (atingindo duas conexões). Quando o número de conexões aumenta exorbitantemente, o sistema adquire uma configuração mais caótica (o que também pode ser uma ideia interessante para os estudos de caso). Junto com o altíssimo número de conexões em um sistema social mediado por dispositivos técnicos conectados está a impossibilidade de se acessar todo o volume de dados que circulam ali. Desse modo, as mídias sociais acabaram criando um modo automático de estabelecimento de critério de relevância, e todos sabemos que as informações vistas pelo usuário são filtradas por algoritmos inteligentes. No *Facebook*, por exemplo, esse critério de relevância é determinado pelo coeficiente chamado *EdgeRank*, que traduz o que vai ser exibido das

postagens tomando como base três fatores: afinidade, relevância e tempo da postagem. Desse modo, cada usuário possui seu próprio critério de relevância, baseado nos dados atribuídos a seu perfil pelo registro de suas ações. Esse mecanismo funciona como um dispositivo de controle, um *hub* automático na rede, capaz de filtrar os dados que considera mais adaptados ao usuário em questão. Um estudo interessante, nessa direção, seria esclarecer a *inteligência* desses algoritmos, tomando como modelo as paisagens adaptativas e o padrão ótimo de sistemas auto-organizados.

Além dos algoritmos, é evidente que as informações circuladas pela rede também são filtradas pelo controle da mediação humana. Assim, tanto o *inflow* quanto o *outflow* alteram a dinâmica das redes, funcionando como um *actante* capaz não apenas de criar, registrar, inscrever, mas também traduzir, selecionar, reproduzir. Os fluxos de informação mediados por humanos nas redes são por si só sistemas complexos com seus padrões e suas leis, que podem ser estudados de modo a revelar tendências não só comerciais, mas também políticas, artísticas e educacionais.

Em suma, as redes sociais de internet possuem várias características de redes auto-organizadas, mas também de redes randômicas. Esse paradoxo ainda está longe de ser resolvido, mas acredita-se que estamos caminhando nessa direção. Um dos modos de rumar a tal destino diz respeito ao entendimento e cruzamento dos modelos existentes para estudar redes. Por isso, os procedimentos adotados aqui nos permitiram: levantar conceitos como rede sem escala, encurtamento de distâncias, conjunção com propriedades novas, formação de atratores, número de *links* por nó, formulação de parâmetros para detectar um processo geral de evolução das redes, estudo do limiar crítico de auto-organização, do tipo de rede com alta velocidade de fluxo e baixa *clusterização*, determinação de um número adequado de campos de comportamento para a formação de homeostase. É possível enaltecer, finalmente, que a inclusão das interações contínuas recursivas do modelo das redes *booleanas* para os estudos sobre

redes em geral nos permite concluir que há regras gerais para caracterizar a evolução das redes e para determinar algumas condições em que ocorre a auto-organização em tais sistemas reticulares. ●

REFERÊNCIAS

- BARABÁSI, Alber-László. *Linked: a nova ciência dos networks, como tudo está conectado a tudo e o que isso significa para os negócios, relações sociais e ciências*. Barueri (SP): Leopardo Editora, 2009.
- BREITMAN, Karin; CASANOVA, Marco; TRUSZKOWSKI, Walter. *Semantic Web: concepts, technologies and applications*. India: Springer International Edition, 2010.
- BRZOZOWSKI, Jerzy André. *Auto-organização e contingência da biologia evolutiva: um estudo sobre os desafios de Stuart Kauffman e Stephen Jay Gould ao darwinismo*. Dissertação (Mestrado em Filosofia) – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2007.
- CASTELLS, Manuel (1999). *A sociedade em rede – a era da informação: economia, sociedade e cultura*. São Paulo: Paz e Terra, 2012.
- CATTUTO, Ciro; LORETO, Vittorio; PIETRONERO, Luciano. *Collaborative Tagging and Semiotic Dynamics*. cs.CY. 4 de maio, 2006. Vol. 1.
- DELEUZE, Gilles; GUATTARI, Félix. *Mil platôs. Capitalismo e esquizofrenia*. Rio de Janeiro: Editora 34, 1995-1997.
- DI FELICE, Massimo. Redes sociais digitais, epistemologias reticulares e a crise do antropomorfismo social. *Revista USP*, São Paulo, n. 92, p. 6-19, dez.-fev, 2012.
- JENKINS, Henry. *Cultura da convergência*. São Paulo: Aleph, 2008.
- KAUFFMAN, Stuart A. *The origins of order: self-organization and selection in evolution*. New York: Oxford University Press, 1993.
- LATOUR, Bruno. *Reagregando o Social: uma introdução à Teoria do Ator-Rede*. Salvador: Edufba, 2012.
- LEMOS, André. *Cibercultura, tecnologia e vida social na cultura contemporânea*. Porto Alegre: Sulina, 2005.
- LÉVY, Pierre. *A inteligência coletiva: para uma antropologia do ciberespaço*. Lisboa: Instituto Piaget, 1994.
- RECUERO, Raquel. Teoria das redes e redes sociais na internet: considerações sobre o Orkut, os Weblogs e os Fotologs. *INTERCOM*, 27., 2004, Porto Alegre. Disponível em: <<http://www.portcom.intercom.org.br/pdf/121985795651418859729998795470196200751.pdf>>. Acesso em: 01 ago. 2013.

RECUERO, Raquel. *Redes sociais na internet*. Porto Alegre: Sulina, 2009.

_____. *A conversação em rede*. Porto Alegre: Sulina, 2012.

SANTAELLA, Lucia. *Linguagens líquidas na era da mobilidade*. São Paulo: Paulus, 2007.

_____. Mídias locativas: a internet móvel de lugares e coisas. *Revista FAMECOS*, v. 1, n. 35, abril 2008.

SANTAELLA, Lucia; LEMOS, Renata. *Redes sociais digitais: a cognição conectiva do Twitter*. São Paulo: Paulus, 2010.

NOTAS

¹ A rigor, um sistema nunca pode ter $K=N$, pois o número máximo de conexões de um sistema é $N-1$.

² Para Barabási (2009), esse número está entre 2 (dois) e 3 (três).

Recebido em: 22 nov. 2013

Aceito em: 05 maio 2014

Endereço dos Autores:

Lucia Santaella <lbraga@pucsp.br>

Tarcísio Cardoso <tscardoso@gmail.com>

Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, Setor de Pós-Graduação

Programa de Pós-Graduação em Comunicação e Semiótica

Rua Monte Alegre 984, Prédio Bandeira de Mello 4º andar – Perdizes

05008-000 São Paulo, SP, Brasil