

RECENSÕES

CALEIDOSCÓPIO

Albert-László Barabási, *Linked – The New Science of Networks*, Perseus, Cambridge, 2002. Duncan J. Watts, *Six Degrees – The Science of a Connected Age*, William Heinemann, Londres, 2003.

Com a criação da teoria das redes, assistiu-se nos últimos anos a uma revolução científica de carácter interdisciplinar. Não é uma teoria inteiramente nova, tendo sido precedida pela criação por P. Erdős, nos anos sessenta, da teoria dos grafos aleatórios. Esta última é uma teoria puramente matemática, donde termos escrito “grafo” em lugar de “rede”. Apenas recentemente podemos falar de uma efectiva teoria das redes *reais*, e isso devido ao abandono de algumas das ideias essenciais avançadas por Erdős, em especial a ideia de partir de um conjunto previamente dado de nós, os quais de seguida vão sendo conectados aleatoriamente com probabilidade p . Este quadro geral começou a ser modificado pelo chamado modelo dos “mundo-pequenos” proposto em 1998 por Duncan Watts e Steve Strogatz, modificação que se tornou ainda mais radical quando, em 1999, Albert Barabási e colaboradores propuseram um modelo no qual os nós vão progressivamente nascendo e conectados por uma função de preferência: um nó conecta-se em proporção às ligações que os outros nós já possuem, pelo que quantas mais ligações um nó possui maior a probabilidade de receber ulteriores ligações.

A teoria das redes que assim nasceu é o objecto dos livros de A. Barabási e D. Watts. Como já se deixou entendido, Barabási e Watts são eles próprios dois dos principais (senão mesmo os principais) criadores dessa teoria, e já seria motivo de regozijo que tivessem escrito dois livros que procedessem a um inventário de um campo de investigação com um progresso tão rápido. Mas o regozijo é maior na medida em

que são dois livros destinados a um público alargado, e que portanto deixam de lado o detalhe das sofisticadas técnicas matemáticas em que a teoria das redes se baseia. Finalmente, tratando-se de divulgação científica de alta qualidade, não é demais sublinhar a importância das duas publicações aqui recensadas.

O livro de A. Barabási foca essencialmente as ideias expostas no seu modelo de 1999 e os inúmeros desenvolvimentos que elas originaram. O livro começa, no entanto, por expor a teoria de Erdős bem como as características do modelo de Watts-Strogatz, a que voltaremos. No quinto capítulo (o “fifth link”), são descritos os passos que levaram à criação do modelo de 1999. O acontecimento determinante foi a constatação empírica de que a distribuição de *links* na World Wide Web não segue a distribuição prevista pela teoria de Erdős. Em lugar de a distribuição ser de tipo gaussiano – em média, cada nó teria aproximadamente o mesmo número de *links* –, ela é em lei de potência, livre de escala (“scale-free”), o que, em termos intuitivos, significa que existe um pequeno número de nós (páginas *web*) que são apontados por um grande número de *links*, e existe um enorme número de nós que são apontados por um reduzido número de *links*. O modelo de Barabási, com crescimento de nós e ligação desses novos nós em função do número de ligações que os nós mais antigos possuem (“the rich gets richer”), visa precisamente dar conta dessa distribuição em lei de potência. Nos capítulos (“links”) seguintes, Barabási mostra que subsequentemente, constatou-se que um grande número de redes – desde a Internet a redes de citações – verifica a propriedade de lei de potência, e que portanto a teoria matemática dos grafos aleatório não é uma teoria das *redes* reais.

Nos capítulos IX-XII, Barabási expõe uma das principais consequências do seu modelo, e que se refere à resistência ou tolerância a falhas das redes. Se se aplicar o modelo à rede de redes Internet, pode reavaliar-se aquela que

RECENSÕES

CALEIDOSCÓPIO

sempre foi julgada uma sua característica distintiva: a redundância e tolerância a falhas. De facto, em certo sentido, assim sucede pois, numa rede sem escala característica, a probabilidade de os nós densamente conectados ("hubs") serem danificados é muito baixa (os 'hubs' são poucos), pelo que dificilmente a rede será fragmentada. Mas essa situação possui evidentemente um reverso, pois se o ataque for direccionado, isto é, visar explicitamente os "hubs", então o efeito será catastrófico. Temos portanto um resultado genérico acerca da estabilidade dos sistemas complexos em rede, o qual pode ser prolongado a inúmeros outros sistemas desse tipo. Por exemplo, no último capítulo, Barabási analisa a essa luz as empresas funcionando em regime de rede dinâmica. Referiremos outro exemplos a propósito do livro de Watts.

Se o livro de A. Barabási é um excelente trabalho de divulgação científica, o de Watts atinge um nível verdadeiramente excepcional. Muitos dos assuntos cobertos são os mesmos que no livro de Barabási, mas agora, compreensivelmente, com um acento tónico na própria linha de investigação inaugurada pelo autor. Após considerações genéricas introdutórias acerca de como vivemos num mundo conectado, apresenta-se o já famoso modelo dos "mundos-pequenos". A expressão captura exactamente aquele sentimento que nos advém quando encontramos ou ouvimos falar de alguém que conhecemos e exclamamos: "como o mundo é pequeno!". E, de facto, assim ocorre. No mencionado modelo de Erdős, o mundo também é pequeno, isto é, a distância (medida pela número de nós intermédios) entre quaisquer dois nós é pequena; pequena por relação à distância nas chamadas redes regulares – redes em que cada nó tem exactamente o mesmo número de ligações. Nessas redes, uma outra quantidade, o chamado coeficiente de agrupamento, isto é, a probabilidade de A e B se

conhecerem se A e B ambos conhecerem C, é grande por relação ao que valor que ele teria uma rede aleatória. O modelo de Watts-Strogatz é construído reconectando aleatoriamente algumas das ligações existentes numa rede regular, e ele permite obter simultaneamente duas propriedades que entretanto se constatou serem verificadas por inúmeras redes reais: um alto coeficiente de agrupamento e uma distância pequena entre quaisquer dois nós.

Um dos interesses do livro de Watts é insistir, mais ainda do que sucede no de Barabási, nos *processos* que se desenrolam numa rede. Isto é, trata-se de ver como a topologia da rede (aleatória ou não, em lei de potência ou exponencial, etc.) constrange os processos dinâmicos que nela se desenrolam. Isso começa logo a ser feito no capítulo V, onde se apresenta um modelo que permite efectivamente, e com base em informação apenas local, encontrar ao caminho pequeno (os nós intermédios) que une dois nós. O interesse de um tal processo é óbvio, não apenas para o célebre caso de fazer chegar uma carta a qualquer habitante do mundo através de seis nós, mas sobretudo em problemas como a navegação na World Wide Web. Um outro processo que pode ser visto à luz da teoria das redes é a propagação de epidemias (capítulo VI), a qual, quando ocorre em redes livres de escala pode ser de natureza completamente diferente da prevista pelos modelos epidemiológicos clássicos, os quais se baseiam implicitamente nas redes aleatórias. Mais em geral, *qualquer* processo propagativo do tipo contágio (contágio de ideias através da imitação, por exemplo) pode ser visto à luz da teoria das redes, como Watts ilustra com o caso das bolhas especulativas bolsistas (capítulo VII) e, sobretudo, com o fascinante modelo descrito no capítulo VIII, o qual possui potenciais aplicações ao Marketing. Finalmente, Watts mostra como os sucessos e falhanços de certas estratégias empresariais podem ser

RECENSÕES

CALEIDOSCÓPIO

vistos no quadro dos modelos anteriormente apresentados.

O livro de Duncan Watts mostra com particular nitidez o enorme potencial interdisciplinar da teoria das redes. Fazê-lo de forma inteiramente clara a propósito de um campo de investigação absolutamente novo, sem mencionar explicitamente qualquer equação matemática mas sem qualquer concessão ao rigor, atesta a qualidade verdadeiramente excepcional do livro de divulgação de D. Watts. Tal como se poderia afirmar em relação ao livro de Barabási, prova-se assim que a melhor divulgação das novas ideias é sempre aquela levada a cabo pelos seus criadores.

António Machuco Rosa

(U.L.H.T.)