

VULNERABILIDADE DE REDES COMPLEXAS

Aluno: Antonio Rossano e João Pedro Mano
Orientador: Celia Anteneodo

Introdução

As redes permitem modelar uma grande variedade de sistemas naturais e artificiais formados por partes discretas que interagem, pois contém as informações detalhadas sobre quais elementos interagem entre si e com qual intensidade. As redes ditas complexas apresentam padrões estatísticos peculiares que ocorrem em muitas redes naturais e sociais [1]. Elas podem ser caracterizadas por uma série de grandezas concernentes a sua topologia e dinâmica. Uma dessas características é a sua vulnerabilidade a ataques. Com a remoção de partes estruturais da rede, a mesma sofre um determinado impacto em sua eficiência, o qual permite medir a vulnerabilidade da rede. Esta medida é importante tanto para antecipar danos quanto para a sua prevenção.

Objetivos

Estudar as propriedades estruturais de redes complexas e aplicar estes conceitos para caracterizar redes reais tais como as de tráfego aéreo de passageiros. Principalmente estudar a vulnerabilidade de redes áreas a ataques a aeroportos e/ou a trajetos entre aeroportos.

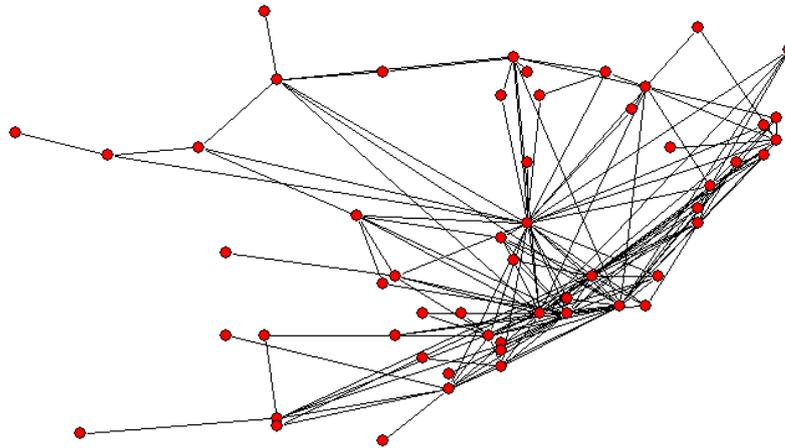
Metodologia

Foram utilizados conceitos teóricos da teoria de grafos e da física estatística. Para caracterizar as redes foram usadas tanto medidas relacionadas à conectividade da rede (força dos vértices, coeficiente de assortividade), medidas relacionadas a ciclos (coeficiente de aglomeração) quanto medidas relacionadas a distâncias (caminho médio, eficiência) [2]. Outro conceito ligado ao estudo das redes complexas que foi usado é a divisão da rede em comunidades de acordo com as similaridades entre os vértices da rede. Em particular a eficiência de uma rede é medida através da média do inverso das distâncias entre todos os vértices. Quanto menor a distância percorrida entre os vértices da rede, maior a sua eficiência. Uma medida da eficiência da rede é dado por:

$$E = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i \neq j} \frac{1}{d_{ij}}$$

onde N é o número de vértices e d_{ij} a distância entre os vértices i e j . A vulnerabilidade da rede foi analisada através do cálculo da eficiência da rede alterada por remoção de partes da mesma. Todos os quantificadores das propriedades da rede foram computados mediante programas de computador desenvolvidos com essa finalidade.

Dados sobre redes reais foram adquiridos através da internet, a exemplo da rede da companhia aérea GOL, que pode ser visualizada a seguir:



Para o caso da GOL foram obtidos os seguintes valores; força média $\langle S \rangle = 94,87$, conectividade média $\langle k \rangle = 5,30$, coeficiente de aglomeração $CC = 0,469$, distância (em arestas) média entre dois vértices: $L = 2,458$. Estas características são muito próximas das encontradas para grandes redes de aviação [3,4].

Com o objetivo de analisar o impacto sofrido pela rede à ataques à sua estrutura, fui considerada a matriz de adjacências. Assim, a eficiência medida da rede foi $E \approx 46,3\%$. Analisando o impacto da remoção de cada vértice da rede, obteve-se uma tabela onde foi possível observar que os “hubs” (aeroportos com maior número de conexões) tendem a ser geralmente os vértices cuja remoção é capaz de danificar mais a rede. Porém, existem também nós com poucas conexões cuja remoção pode ter um impacto importante sobre o funcionamento da rede. A detecção destes elementos é de relevância prática.

Conclusões

As propriedades comumente consideradas para analisar redes complexas foram aqui utilizadas para caracterizar redes reais de companhias aéreas como a GOL e a Air France. Em particular foi caracterizado o grau de vulnerabilidade de cada rede. Este estudo permitiu uma análise comparativa das redes associadas a companhias de diferentes mercados. O estudo da vulnerabilidade de uma rede é importante para a antecipação de danos, e conseqüentemente prevenção dos mesmos. Os resultados deste tipo de estudo pode também guiar a reestruturação de uma rede para torná-la menos susceptível a ataques ou acidentes.

Os programas computacionais desenvolvidos para estudar as propriedades estruturais e o impacto da remoção de partes da rede poderá ser aplicado ao estudo futuro de outras redes reais.

Referências

- 1 - BARABASI, A.-L., ALBERT R. Emergence of scaling in random networks. **Science**, v.286, 509-512, oct. 1999.
- 2 - RODRIGUES, F.A. **Caracterização, classificação e análise de redes complexas**. Tese de doutorado - Instituto de Física de São Carlos (USP), 2007.
- 3 - ROCHA, Luis. Structural evolution of the Brazilian airport network. **J. Stat. Mech.**, v.04, P04020, 2009.
- 4 - GUIMERA R.; AMARAL, L.A.N. Modeling the world-wide airport network. **Eur. Phys. J. B**, v.38, 381-385, 2004.