

## **Sistemas Complexos e Redes Complexas na modelagem da rede de poder do capitalismo brasileiro**

### **1 Introdução/Motivação**

A disciplina de Sistemas Complexos oferecida no terceiro trimestre de 2013, no PPGI/UFRJ, buscou trazer aos alunos uma visão do que hoje nas mais diversas áreas vem sendo chamado de complexidade ou sistemas complexos. A disciplina buscou oferecer elementos teóricos para fundamentar o debate, principalmente em [3], mas sobretudo buscou sempre ancorar os conceitos em situações e problemas reais.

Este artigo se refere ao último trabalho da disciplina, que consistiu em dois momentos: no primeiro, foi feita uma análise de grupos de pesquisa que utilizam o conceito de sistemas complexos em seu trabalho de pesquisa. Esta análise deveria levantar principalmente as ferramentas utilizadas na prática para tratar problemas vistos do ponto de vista dos sistemas complexo. A partir daí, no segundo momento se deveria analisar um problema particular utilizando as ferramentas vistas anteriormente.

Como pode ser visto no relatório "Grupos de Pesquisa e Correntes de Pensamento em Sistemas Complexos", uma parte dos grupos que lida com sistemas complexos o faz do ponto de vista de redes, ou seja, o problema complexo é modelado como uma rede, e a partir daí dispomos de diversas ferramentas desenvolvidas no âmbito da teoria das redes (complexas) para trabalhar em nosso problema.

Seguindo o que foi apresentado em "Sistemas Complexos - Grupos Abordagens e Técnicas", iremos trabalhar neste artigo com a rede de empresas e participações construída no âmbito da campanha "Quem São os Proprietários do Brasil?". Na primeira seção, aprofundaremos a forma como redes são vistas como sistemas complexos, e portanto que possibilita a modelagem de sistemas complexos enquanto redes. Em seguida, veremos o conceito de redes complexas, uma abordagem vinda da teoria das redes. A terceira seção detalha o problema a ser estudado, justificando sua classificação enquanto sistema complexo (e rede complexa), e verificando a aderência dos conceitos de redes complexas a este problema.

### **2 Sistemas Complexos enquanto redes**

O trabalho de Katz e Stafford [1] justifica a utilização do termo “sistema complexo” pela necessidade de compreender as interações entre agentes. Para eles, um sistema complexo é aquele que exhibe um comportamento emergente.

Melanie Mitchell, umas das pesquisadoras do Santa Fe Institute é a autora do livro “Complexity: a guided tour”. Em seu artigo Complex Systems: Network Thinking [2], ela traça um panorama da relação entre sistemas complexos e análise de redes. Sua definição para sistemas complexos vai ao encontro da definição utilizada em [1]:

“Informally, a complex system is a large network of relatively simple components with no central control, in which emergent complex behavior is exhibited.”

---

1 <http://www.proprietariosdobrasil.org.br>

### 3 Redes Complexas

O conceito de redes complexas não é consagrado e completamente homogêneo, mas tem sido usado na literatura da teoria de redes. O ponto em comum das definições coloca as redes complexas como redes do mundo real, em oposição às redes e grafos "simples", que apenas modelam problemas.

O artigo que inspirou a metodologia utilizada para construção da rede de proprietários do Brasil [5] utilizou termo rede complexa sem uma definição clara. O artigo [4], que faz um *survey* de 58 páginas sobre características de redes complexas, encontramos apenas uma ocorrência deste nome (*complex network*) fora do título e fora das 429 referências sobre o assunto. O autor utiliza o termo redes reais, ou simplesmente redes.

Most of the interesting features of real-world networks that have attracted the attention of researchers in the last few years however concern the ways in which networks are not like random graphs. Real networks are non-random in some revealing ways that suggest both possible mechanisms that could be guiding network formation, and possible ways in which we could exploit network structure to achieve certain aims. In this section we describe some features that appear to be common to networks of many different types. (Newnam, 2003).

A primeira diferenciação que se pode colocar é em relação ao número de vértices e a capacidade de análise visual. Enquanto as redes de dezenas ou centenas de nós pode ser analisada de forma visual (como feito em [1]), essa abordagem é inútil quando falamos de milhares, milhões ou bilhões de nós.

Afora questões de nomenclatura, o que de fato nos interessa neste campo são as características exibidas pelas redes reais, e onde de fato temos uma diferenciação clara destas redes em relação às redes construídas de forma aleatória. A seguir, algumas destas características como descrito em [4]. Vale lembrar que as características forma ilustradas com exemplos de redes de 4 tipos, definidos de forma ampla: redes sociais, redes de informação (ou de conhecimento), redes tecnológicas e redes biológicas.

#### 3.1 Efeito Small-World

O efeito *small-world* (ou efeito de pequeno-mundo, tradução do autor) talvez seja a característica mais marcante das redes complexas. Experimentos feitos por Milgram em 1967 mostraram que a distância média entre vértices numa rede de conhecimentos (rede social) é de 6 graus. Este experimento gerou o conceito dos "seis graus de separação", que foi cunhado anos mais tarde por outros autores.

O efeito de pequeno-mundo tem implicações sobre a dinâmica da circulação de informação em uma rede. A distância de 6 graus, e não de dezenas ou centenas, torna a circulação na rede bastante veloz, sobretudo ao considerar exemplos de disseminação de doenças, ou saltos necessários em uma rede de computadores.

A análise de diversos artigos que estudam redes reais mostra que a distância média entre os vértices varia entre 1,9 e 18,99, e em todos os casos é muito menor (até 7 ordens de grandeza) do que o número de nós.

#### 3.2 Transitividade ou agrupamento

A propriedade da transitividade mostra que há uma alta probabilidade de que a A ser ligado a C, dado que A se liga a B, e B se liga a C. Isso pode ser traduzido na linguagem de redes sociais como "o amigo do meu amigo é meu amigo". Observando a topologia do grafo, isso se traduz na formação de triângulos, e por isso a propriedade também é chamada de agrupamento (*clustering*).

A partir deste conceito, podemos calcular o coeficiente C como a razão entre 3 vezes o número de triângulo e o número de vértices com duas arestas. Com isso, temos a probabilidade de que, dado

que haja um vértice com duas arestas, se forme um triângulo. Ou podemos dizer que é a probabilidade de o amigo do meu amigo ser meu amigo.

Este coeficiente pode ser usado tanto para saber se uma rede é uma rede real ou complexa, quanto para construir uma.

### 3.3 Distribuição dos graus

Real-world networks are mostly found to be very unlike the random graph in their degree distributions. Far from having a Poisson distribution, the degrees of the vertices in most networks are highly right-skewed, meaning that their distribution has a long right tail of values that are far above the mean. [4]

O grau de um vértice é a quantidade de arestas que chegam a este vértice. Com isso, podemos definir a probabilidade de um vértice ter um determinado grau, a probabilidade cumulativa de um vértice ter pelo menos determinado grau.

Redes cuja distribuição dos graus é uma lei de potência (*power law*) são chamadas de redes sem escalas (*scale-free*). Este tipo de rede é bastante comum no mundo real, incluindo redes de citação em pesquisa, WWW, Internet, redes metabólicas, grafos de ligações telefônicas, e até redes de relações sexuais entre humanos.

Outra medida importante é o grau máximo da rede, que tende a crescer com o tamanho da rede.

### 3.4 Resiliência da Rede

O conceito de resiliência de uma rede à retirada de nós está diretamente ligada à distribuição dos graus. A remoção de nós causa perda de conectividade, aumento da distância média e pode em alguns casos causar deixar nós incomunicáveis.

Um exemplo interessante da remoção de nós é no contexto de espalhamento de uma doença contagiosa. Um indivíduo vacinado é com um nó removido da rede de contato, pois ele, além de não desenvolver a doença, também não contagia as pessoas próximas.

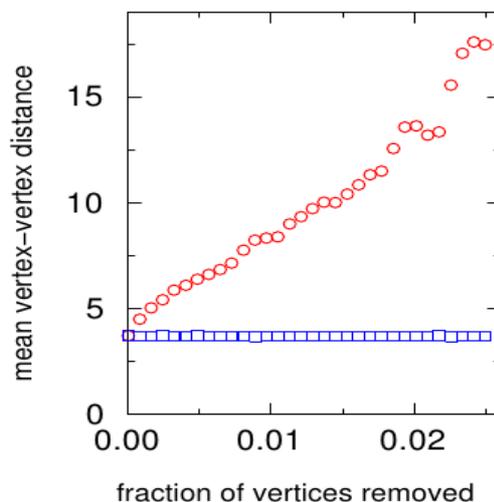


Figura 1: Resiliência: os quadrados representam o aumento da distância no caso da retirada de nós aleatórios na Internet; já os círculos mostram o aumento da distância ao se retirar os nós por ordem dos maiores graus.

### 3.5 Mistura de padrões e correlação entre graus

Outra medida interessante se refere a probabilidade de haver relacionamento entre vértices de tipos

diferentes (mistura de padrões – *mixing patterns*) e entre vértices de acordo com o grau (correlação entre graus – *degree correlation*).

Em uma rede grande, normalmente vértices têm tipos distintos: herbívoros e carnívoros numa cadeia alimentar, homens e mulheres numa rede social, etc. A probabilidade de haver ligação entre nós do mesmo tipo ou nós de tipos distintos é uma informação relevante.

Da mesma forma, também é interessante analisar a probabilidade de haver ligação entre nós de acordo com o seu grau. Nesse sentido, se define o conceito de "*assortativity*", que é a característica de nós com alto grau se ligaram a outros nós de alto grau. Redes sociais tendem a ser *assortatives*, mas outras como redes de informações e redes biológicas tendem a ser *unassortatives*.

### 3.6 Estrutura de Comunidade

Grande parte das redes sociais exibe estrutura de comunidade, ou seja, grupos de vértices têm alta densidade de arestas entre si, enquanto a densidade entre grupos é mais baixa.

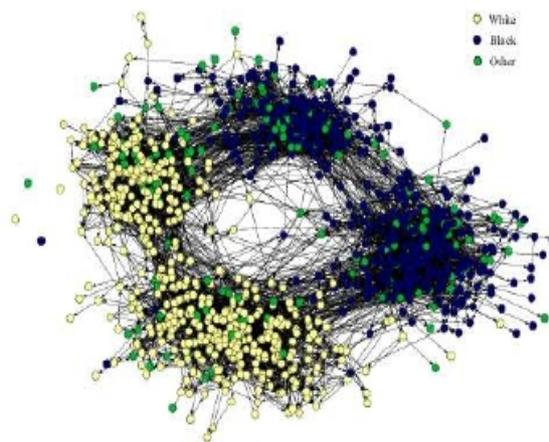


Figura 2: A rede mostra relações de amizade entre estudantes brancos, negros e de outras etnias nos Estados Unidos. A estrutura de comunidade se mostra claramente na separação em quatro grupos dividindo brancos e negros, e alunos do ensino fundamental e médio.

### 3.7 Navegação pela Rede

O experimento de Milgram, que originou a teoria dos 6 graus de separação, também revelou outro aspecto das redes sociais: o fato de que os nós, apesar de não conhecerem a rede inteira, têm facilidade em encontrar os menores caminhos. Isso indica uma estrutura especial nestas redes, que não são encontradas em redes aleatórias.

## 4 Quem são os Proprietários do Brasil?

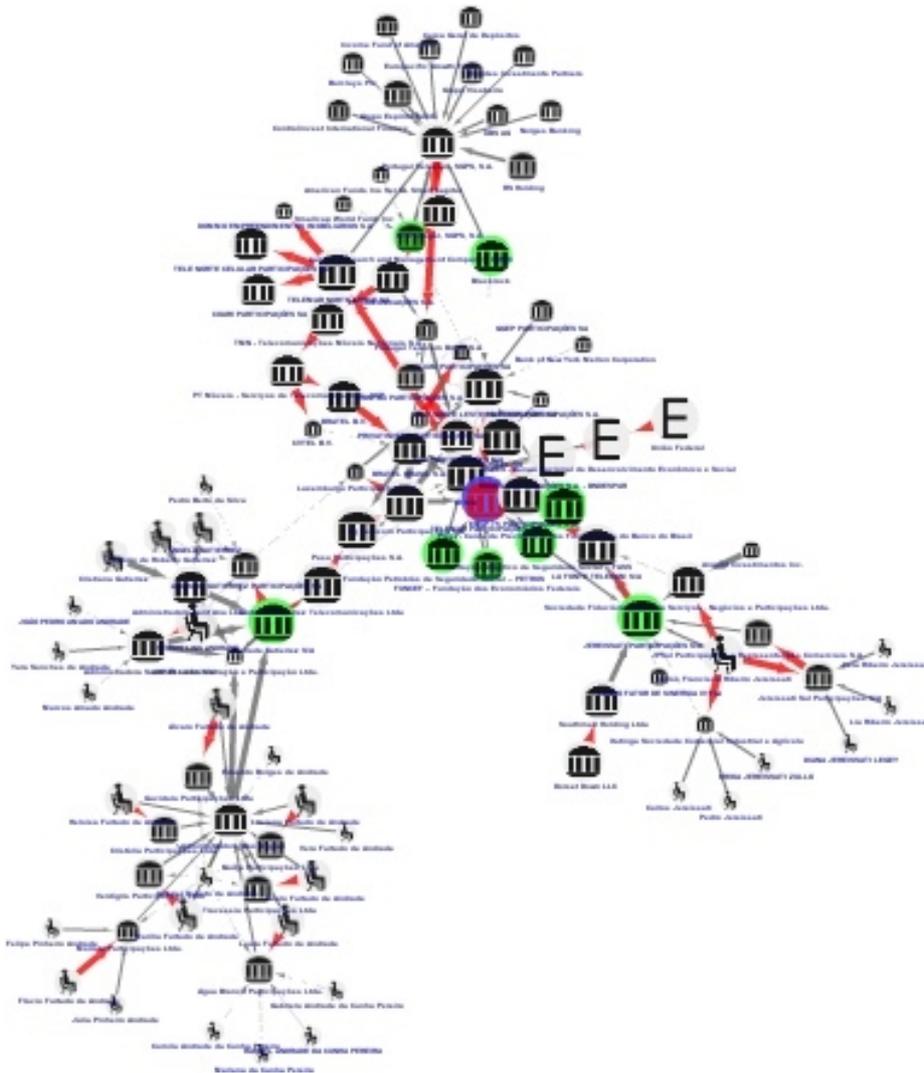


Figura 3: Rede de poder da Telemar S/A. A rede mostra pessoas, empresas e o estado, conectados pela participação em ações ordinárias. Fonte: [www.proprietariosdobrasil.org.br](http://www.proprietariosdobrasil.org.br)

Recentemente foi lançada uma campanha com o objetivo de revelar a estrutura de poder no controle das grandes empresas brasileiras. O projeto "Quem são os proprietários do Brasil?" utilizou dados da Comissão de Valores Mobiliários (CVM) para montar um rede de empresas, órgãos estatais e pessoas cujas ligações se dão pela participação em ações ordinárias (com direito a voto) nas empresas. Com isso, calcula-se o Poder Acumulado de cada nó, ponderando-se as participações diretas e indiretas com a receita líquida de cada empresa.

Deste modo, forma-se uma grafo direcionado com as seguintes características:

<b>Tipos de Nó</b>	Empresa privada, empresa pública, órgão público e pessoa física
<b>Direção das arestas</b>	A -> B significa que A tem participação nas ações ordinárias em B
<b>Propriedades de um nó</b>	Poder Acumulado, Receita, CPF/CNPJ
<b>Propriedade de uma aresta</b>	Percentual de ações ordinárias
<b>Número de Nós</b>	5599

*Tabela 1: Características da Rede de Proprietários do Brasil*

Calcular as propriedades desta rede utilizando os conceitos descritos acima está além do escopo deste trabalho. A seguir serão feitas considerações com o objetivo de caracterizar a rede como rede complexa, e analisar a utilidade dos conceitos na análise da rede segundo os objetivos da campanha.

#### **4.1 A rede dos proprietários como rede complexa**

Mesmo que não haja uma definição formal de rede complexa, a rede dos proprietários do Brasil tem características que permitem identificá-la como tal. A primeira delas é ser uma rede do mundo real. Isso significa que estamos diante de uma rede que existe no mundo real, e que não foi gerada artificialmente.

Essa afirmação tem outras consequências: a rede tem um número de amostras pequena, o que pode nos dar poucas amostras em determinadas situações, como a cauda da distribuição dos graus. A rede parte das 703 empresas que possuem ações na bolsa de valores, e se expande para 5599 atores a partir das redes de participações. As empresas constantes na rede respondem por 52% do PIB brasileiro.

As limitações encontram-se pelos seguintes motivos: (i) a CVM não obriga as empresas a identificarem acionistas com menos de 5% das ações; (ii) erros no preenchimento da ficha entregue pelas empresas à CVM; (iii) empresas enquadradas como sociedades anônimas de capital fechado ou limitadas.

A quantidade de nós na rede também pode caracterizá-la como rede complexa. O total de 5599 nós dificulta análises de visuais, que só podem ser feitas em algumas subgrupos.

O enquadramento nesta rede nas categorias propostas - redes sociais, redes de informação (ou de conhecimento), redes tecnológicas e redes biológicas – não é tão simples. A rede dos proprietários do Brasil tem características de rede social, como colocado na seção II.A de Newman 2003. Entretanto, há algumas diferenças importantes.

Ao contrário das redes sociais, o peso de cada nó é um fator fundamental, pois é ele quem revela o poder de cada ator. Além disso, o número de ligações (graus) de um vértice não é um fator tão relevante. Revela apenas o número de acionistas. Novamente, o interesse está no peso das arestas, que revela o grau de concentração de poder em poucos atores.

#### **4.2 As análises desejáveis**

A partir da representação desta rede enquanto grafo, com as características listadas acima, esperamos responder algumas perguntas.

Em primeira, há um consenso geral de que a economia é concentrada em poucas empresas. Entretanto, essa afirmação é difícil de quantificar por vários motivos, sendo o principal deles a

ocultação das redes de poder [5]. Portanto, medidas objetivas de concentração de poder são interessantes.

Outra análise importante é o quão significativo para a rede são alguns atores ou grupos específicos de atores. Por exemplo, seria interessante perceber o que seria da rede sem a presença do estado. Ou então, quais os nós que causam maior estrago ao serem retirados, no caso de uma falência.

### **4.3 Aderência dos conceitos aos objetivo de análise**

#### **4.3.1 Efeito Small-World**

Na rede de proprietários do Brasil, a análise da distância média entre os vértices não tem a mesma importância que teria numa rede social comum. As arestas não transmitem informação, mas sim poder. Entretanto, este poder é muito mais dependente do peso dos vértices e das arestas, do que da distância propriamente dita.

Uma pequena distância média, no caso de se verificar o efeito mundo pequeno, poderia revelar um mercado dominado por poucos atores principais, que se concentram em si as participações. Entretanto, as medidas devem ser sempre ponderadas pelos pesos.

#### **4.3.2 Transitividade ou agrupamento**

A aplicação do conceito de transitividade à rede dos proprietários do Brasil não parece ter uma interpretação óbvia. Ainda mais se considerarmos que o conceito não é definido claramente para grafos direcionados.

A ocorrência de triângulos na rede pode revelar um maior interconexão entre os nós. Mais uma vez, a análise depende fortemente de uma ponderação com os pesos (poder acumulado), e também dos tipos de atores envolvidos nos triângulos. Essa questão será tratada adiante, na seção Mistura de padrões e correlação entre graus.

#### **4.3.3 Distribuição dos graus**

Como dito anteriormente, o número de acionistas com direito a voto não é uma informação, a priori, relevante na rede proprietários do Brasil. Uma empresa pode ter 1000 acionistas, sendo cada um com 0,1%, ou então um com 99% e outros 999 dividindo os 1% restantes. Entretanto, há outras formas de se considerar esse parâmetro.

Uma delas seria o mesmo cálculo feito após aplicação do limite de 50%. Para efeito do cálculo do Poder Acumulado, considera-se que, caso uma empresa tenha mais de 50% de participação relativa, é atribuída a ela 100% das ações, enquanto os outros acionistas são desconsiderados.

Desta forma, poderíamos calcular a probabilidade de uma empresa ser controlada, isto é, ter apenas um acionista após aplicação do limite.

#### **4.3.4 Resiliência da Rede**

De todos os conceitos apresentados, talvez a resiliência seja o mais interessante para o caso estudado. A pergunta a ser respondida seria: o que ocorre com a rede caso uma certa empresa saia da rede, ou seja, vá à falência? Os efeitos certamente se estendem por toda a rede influenciada por esta empresa, que pode ser tão grande quanto maior a participação dela em outras empresas.

Em [4], a medida de resiliência é o número de ligações cortadas ao se retirar um nó. Este pode ser uma medida útil, mas certamente o mais útil é saber quantos nós têm participação direta e indireta no nó retirado (o que chamamos de cadeia).

#### **4.3.5 Mistura de padrões e correlação entre graus**

A mistura de padrões é outro ponto interessante de análise da rede. Os tipos de nós – empresas privadas, empresas públicas, pessoas físicas e órgãos do governo – têm atuação bastante distinta neste problema. Apenas as empresas privadas e públicas podem ter participação de outros atores.

Observar a participação dos órgãos estatais (governos estaduais, união federal, ...) em empresas públicas e privadas pode provar uma constatação que já tem sido feita a partir da observação da rede. O capitalismo, apesar de sua ideologia liberal que prega o estado mínimo, simplesmente não funciona sem ele.

A forte participação do BNDES em diversas empresas que estão ente as primeiras colocadas do ranking é o indício que a estrutura de poder das empresas "privadas" é mantida às custas de dinheiro público. Ironicamente, no caso do BNDES, a maior parte dos recursos vem do Fundo de Amparo ao Trabalhador (FAT), descontado dos salários dos trabalhadores.

Em relação à correlação entre graus, voltamos à discussão sobre a relevância dos graus nesta rede. Mais uma vez, o interesse seria no caso de se levar em consideração o peso das arestas.

#### 4.3.6 Estrutura de Comunidade

É esperado que a rede de proprietários exiba uma estrutura de comunidade em relação aos setores da indústria representados pelos atores. É possível que empresas do agronegócio ou de infraestrutura tenha muitas ligações entre si, e poucas com outros grupos.

Entretanto, é sabido que estratégias seguras de investimento recomendam a diversificação das ações em diversos setores. Com isso, é menos provável que se perca muito, mas também ganhos altos também ficam menos prováveis.

Outro tipo de comunidade que pode ser formada é entre investidores pessoais e as grandes empresas, também chamadas *blue chips*. Por serem supostamente mais seguras, têm mais sócios e portanto é esperado que formem comunidades.

#### 4.3.7 Navegação pela Rede

O conceito de navegação pela rede também se revela de grande interesse para a rede de proprietários do Brasil. Mais uma vez, existe uma dificuldade de translação do conceito devido à importância dos pesos das arestas e dos nós.

Em [4], é citado neste conceito a habilidade dos indivíduos em achar os menores caminhos mesmo sem conhecer a rede toda. No caso do problema aqui apresentado, existe um grande interesse nos caminhos de influência.

Tratando-se apenas de ações com poder de voto, todos os acionistas exercem um certo poder sobre as empresas que detêm ações. Este poder se dá diretamente sobre a empresa que se tem a ação, mas indiretamente sobre as outras empresas da mesma cadeia.

Desta forma, definimos as cadeias de poder de uma empresa como todas as empresas, pessoas ou órgãos públicos que têm alguma influência sobre esta empresa. Um dos desafios, além de encontrar esta cadeia, é saber dentro dela quem são os atores mais poderosos.

## 5 Conclusões

Neste trabalho, foram analisados alguns conceitos que podem ser úteis no tratamento de sistemas complexos representados em forma de rede. Esta abordagem tem sido usada na literatura, e tem como grande vantagem o enorme ferramental teórico já desenvolvido no campo da teoria de redes. Restam os desafios de como representar o problema em forma de rede, e como aplicar as técnicas, dados que foram desenvolvidas para tratamento de outros tipos de redes.

No contexto da representação, foi introduzido o conceito de rede complexa. Apesar de não ser um

conceito bem sedimentado, há um acordo de se tratam de redes do mundo real, normalmente com grande número de nós e dificuldades em se representar todos eles. Isso torna a abordagem probabilística a mais indicada.

Finalmente foram analisados alguns dos conceitos definidos e ilustrados em Newman 2003, e sua aderência à rede dos proprietários do Brasil. Concluímos que a maioria dos conceitos pode ser útil na análise desta rede, mas há de se fazer uma adaptação para que se considere pesos de nós e arestas, que são fundamentais nesta rede.

Especificamente, os conceitos de resiliência, mistura de padrões e navegação pela rede parecem de interesse especial para que possa verificar questões que surgem com a modelagem da rede proprietários. Tais conceitos podem ajudar na respostas sobre concentração de poder, setorização de poder e cadeias de poder, respectivamente.

Neste trabalho, foi possível verificar a importância da abordagem de redes em sistemas complexos, sendo fortemente recomendado a aprofundamento neste campo, afim de agregar mais ferramentas e possibilidades no tratamento de sistemas complexos.

## 6 Bibliografia

- [1] Katz, Daniel M. e Stafford, Derek K. . “Hustle and Flow: A Social Network Analysis of the American Federal Judiciary.” *OHIO STATE LAW JOURNAL*, 2010, 71 edition, sec. 3.
- [2] Melanie Mitchell. “Complex Systems: Network Thinking”. *Portland State University and Santa Fe Institute*, 2006.
- [3] Morin, Edgar. Introdução ao Pensamento Complexo. 1999
- [4] Newman, M. E. J. . The structure and function of complex networks. *SIAM Review* 45, 167-256 (2003)
- [5] Vitali S., Glattfelder J.B., Battiston S. .The Network of Global Corporate Control. *PLoS ONE* 6(10), 2011.