

MARIANA PIAIA ABREU

**ENCADEAMENTOS EM REDE NA ECONOMIA: UM ESTUDO
APLICADO SOBRE A ESTRUTURA ECONÔMICA BRASILEIRA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Economia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2014

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

Abreu, Mariana Piaia, 1989-

A162e Encadeamentos em rede na economia : um estudo aplicado
2014 sobre a estrutura econômica brasileira / Mariana Piaia Abreu. –
 Viçosa, MG, 2014.
 xi, 87f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: Newton Paulo Bueno.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.76-83.

1. Economia. 2. Matriz Insumo-Produto. 3. Rede.
4. Setores. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Economia. Programa de Pós-graduação em Economia. II. Título.

CDD 22. ed. 330

MARIANA PIAIA ABREU

**ENCADEAMENTOS EM REDE NA ECONOMIA: UM ESTUDO
APLICADO SOBRE A ESTRUTURA ECONÔMICA BRASILEIRA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Economia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA:16 de maio de 2014.

Luciano Dias de Carvalho
(Coorientador)

Fabrício de Assis Campos Vieira
(Coorientador)

Renata Raposo Del-Vecchio

Newton Paulo Bueno
(Orientador)

À minha mãe e à memória de meu pai.

“Além disso, não precisamos correr sozinhos o risco da aventura, pois os heróis de todos os tempos a enfrentaram antes de nós. O labirinto é conhecido em toda a sua extensão. Temos apenas de seguir a trilha do herói, e lá, onde temíamos encontrar algo abominável, encontraremos um deus. E lá, onde esperávamos matar alguém, mataremos a nós mesmos. Onde imaginávamos viajar para longe, iremos ter ao centro da nossa própria existência. E lá, onde pensávamos estar sós, estaremos na companhia do mundo todo.”

Joseph Campbell

AGRADECIMENTOS

Início os agradecimentos a quem dedico esta dissertação, minha mãe. A pessoa mais forte, íntegra e bondosa que eu conheço e que espero poder ser, um dia, parecida. Estendo os agradecimentos a Deus, Deuses, Orixás, Energias, Acaso, seja lá a força superior que nos guie. Esta força superior teve a bondade de colocar em meu caminho pessoas que colaboraram, e eu digo, que fizeram ser possível esta pesquisa. É difícil citar, porém, inevitável: em minha infância e toda a minha vida, a influência do meu pai e do meu Vô Suco (prematuramente afastados), de meus *Nonnos*, Tia Vanda, Tio Dema e a minha prima/irmã Francine, suas histórias e apoio incondicional. Agradeço também à educação germânica que somente Panambi pôde me dar, e as pessoas que lá encontrei e “me criaram”, em especial Andréia, Giulia, Sabrina, Vanessa (e seu presente, Pedro). Em Santa Maria da Boca do Monte, durante a graduação, pude conviver com pessoas extraordinárias, que colaboraram muito para meu crescimento pessoal e intelectual: meu professor e sempre orientador Feistel, e toda a turma de graduação, em especial à pessoa mais incrível à qual eu certamente terei o prazer do convívio e amizade, Liana. Já em Viçosa, agradeço a formação que o Departamento de Economia da UFV me proporcionou. Sou grata à oportunidade de ter trabalhado com meu orientador, Newton, sempre presente, e o grande apoio do meu coorientador, Luciano. Difícil é agradecer aos meus colegas e amigos destes dois últimos anos... Obrigada por terem me ajudado a ser uma pessoa mais calma, que fala mais devagar, pela compreensão, carinho, e pela irrestrita ajuda. Agradeço à toda minha turma de mestrado e demais colegas do DEE/UFV em nome dos três ícones da nossa turma: Cassiano (meu modelo a ser seguido), Gabriel (o que resolve todos os meus problemas) e Fred (que me acalma e estressa ao mesmo tempo). À família que eu conquistei em Viçosa, um brinde inestimável do Departamento de Economia Rural, obrigada pelos bons, incríveis, e inacreditáveis momentos e ajuda inigualável nos momentos difíceis; vocês, Lucas, Matheus, Paulo, Priscila, Lorena, Davi, Douglas, Pedro, Mateus, Felipe são parte fundamental deste trabalho. Agradeço também aos melhores *roommates* que se poderia ter, em especial à Gabriela, que tanto me emprestou seu ombro e colo, e ao Lucas, que foram peças fundamentais na reta final.

Enfim, sou uma pessoa de sorte. Agradece-se à sorte?

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	ix
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xi
1 INTRODUÇÃO.....	01
1.1 Considerações iniciais.....	01
1.2 O problema e a sua importância.....	03
1.3 Objetivos.....	05
1.3.1 Objetivo geral.....	05
1.3.2 Objetivos específicos.....	05
1.4 O escopo do trabalho.....	06
2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO.....	07
2.1 Processo de difusão: tradições de estudo.....	08
2.2 Análise de Redes: evolução conceitual.....	13
2.3 Processos de difusão em redes sociais.....	21
2.3.1 Limiares de Redes Sociais.....	21
2.3.2 Homofílicos e Heterofílicos.....	27
2.3.3 Pesquisas de difusão em análise de redes: as pesquisas atuais.....	30
2.3.4 Pesquisas de difusão em análise de redes: ênfase em economia	36
2.4 Considerações finais.....	39
3 METODOLOGIA.....	41
3.1 Procedimentos metodológicos.....	41
3.2 Noções Básicas de Análise Redes.....	42
3.2.1 Medidas de Concentração.....	43
3.2.2 Limiar de percolação.....	45
3.2.3 Sistema assortativo e dissortativo: o grau de correlação.....	46
3.2.4 Beta-Centralidade: uma medida de poder.....	48
3.3 Base de dados.....	49
4 APLICAÇÃO DE ANÁLISE DE REDES AO ESTUDO DA DINÂMICA ECONÔMICA BRASILEIRA.....	51

4.1 Os setores da economia brasileira de 1985 e 2007.....	51
4.2 Topologia das redes de interações setoriais da economia brasileira.....	53
4.2.1 Medidas da centralidade: os setores-chave.....	56
4.2.2. Limiar de Percolação.....	63
4.3 Padrões de difusão nas redes de interações setoriais da economia brasileira.....	64
5 CONCLUSÃO.....	73
REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO.....	76
ANEXOS.....	84

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Procedimento de pesquisa.....	07
Figura 2 – Curva de difusão em forma de S.....	11
Figura 3 – Mapa de Königsberg em 1652.....	13
Figura 4 – Diagrama de Euler do mapa de Königsberg.....	14
Figura 5 – Problema das sete pontes de Königsberg: representação em grafo.....	15
Figura 6 – Exemplo de rede aleatória.....	16
Figura 7 – Processo de religação aleatória para interpolação entre uma rede regular e uma rede aleatória.....	19
Figura 8 – Comprimento médio e coeficiente de aglomeração de redes de mundo-pequeno.....	20
Figura 9 – Teoria da Percolação: incêndio florestal.....	21
Figura 10 – Centralização de Redes: (a) rede com grupos organizados em torno de agentes com elevada centralidade de grau e rede com agentes homogêneos; (b) rede com elevada centralidade e network descentralizado.....	25
Figura 11 – Dinâmica de cascatas de informação em redes com diferentes centralidades de grau (k).....	26
Figura 12 – Cascata de informação: $t = 1$	27
Figura 13 – Cascata de informação: (a) $t = 2$; (b) $t = 3$	27
Figura 14 – Componente gigante o grau de assortatividade.....	33
Figura 15 – Grau de correlação das redes: (a) colaboração científica: assortativo; (b) rede de energia: neutro; (c) rede metabólica: disassortativo.....	34
Figura 16 – Rede do Clube de Karate de Zachary.....	35
Figura 17 – Centralidade dos membros do Clube de Karate de Zachary versus α	36
Figura 18 – Procedimento metodológico.....	41
Quadro 1 – Coeficientes técnicos da economia brasileira de 1985.....	51
Quadro 2 – Coeficientes técnicos da economia brasileira de 2007.....	52
Figura 19 – Rede de interações setoriais de 1985.....	54
Figura 20 – Rede de interações setoriais de 2007.....	55
Figura 21 – Rede de interações setoriais de 1985: centralidade de grau.....	57
Figura 22 – Rede de interações setoriais de 2007: centralidade de grau.....	61

Figura 23 – Limiar de Percolação.....	64
Figura 24 – Grau de correlação das redes de 1985 e 2007.....	65
Figura 25 – Beta-centralidade versus β para a rede de 1985: padrão de crescimento.....	66
Figura 26 – Beta-centralidade versus β para a rede de 1985: padrão de decrescimento...	67
Figura 27 – Rede de interações setoriais de 1985: a beta-centralidade.....	68
Figura 28 – Beta-centralidade versus β para a rede de 2007: padrão de decrescimento...	69
Figura 29 – Beta-centralidade versus β para a rede de 2007: padrão de crescimento.....	70
Figura 30 – Rede de interações setoriais de 2007: a beta-centralidade.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Índices de Ligações Setoriais de 1985 e 2007: setores de destaque.....	53
Tabela 2 – Centralidade de grau da rede de interações setoriais em 1985.....	57
Tabela 3 – Centralidade de intermediação da rede de interações setoriais em 1985.....	58
Tabela 4 – Centralidade de proximidade da rede de interações setoriais em 1985.....	58
Tabela 5 – Centralidade autovetorial da rede de interações setoriais em 1985.....	59
Tabela 6 – Centralidade de grau da rede de interações setoriais em 2007.....	60
Tabela 7 – Centralidade de intermediação da rede de interações setoriais em 2007.....	61
Tabela 8 – Centralidade proximidade da rede de interações setoriais em 2007.....	62
Tabela 9 – Centralidade autovetorial da rede de interações setoriais em 2007.....	62
Tabela 10 – Limiares de percolação.....	63
Tabela 11 – Grau de correlação.....	65

RESUMO

ABREU, Mariana Piaia, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2014.
Encadeamentos em rede na economia: um estudo aplicado sobre a estrutura econômica brasileira. Orientador: Newton Paulo Bueno. Coorientadores: Luciano Dias de Carvalho e Fabrício de Assis Campos Vieira.

Nesta pesquisa questiona-se como a estrutura brasileira, enfatizando os encadeamentos setoriais, responde aos diversos processos de difusão, como a propagação de choques de demanda, espalhamento da inflação e difusão tecnológica. O sistema social estudado são os setores da economia brasileira, os canais de comunicação são as relações que estes setores têm uns com os outros, ou seja, o quanto um setor contribui para a produção de outros setores, e a inovação é tida como um choque, sendo o choque um efeito de uma variação exógena nos setores na economia brasileira, podendo ser um choque de demanda, um processo inflacionário ou uma nova tecnologia. Compreende-se que os processos de difusão dão-se segundo uma rede de contatos, que depende de como se compõe as interações dos setores da economia. Conforme os setores se relacionam, um choque pode se difundir com formas e velocidades diferentes. Cascatas de informação que ocorrem nas redes se dão via contágio social, dependendo da topologia da rede, podem se espalhar e atingir um grande número de setores. Os métodos recentes desenvolvidos pela abordagem de redes permitem iniciar uma tentativa de resposta a questões cruciais sobre a estrutura econômica. Argumenta-se que esse procedimento complementa as análises de insumo-produto tradicionais em dois sentidos: (i) inferir como características específicas das redes subjacentes influenciam a dinâmica dos processos de difusão; (ii) analisar os distintos efeitos de encadeamento em rede e identificar como os diferentes processos de difusão se dão na economia brasileira. A hipótese é que há determinados setores-chave dependendo do processo de difusão que se queira analisar, o que foi verificado. Notou-se a diferença dos setores-chave nos três processos de difusão, tanto para a análise convencional da matriz insumo-produto, como para a análise padrão de setores-chave de rede. Este resultado justifica a análise e sugere que esta metodologia é um bom ponto de partida para os estudos dos processos de difusão em economias.

ABSTRACT

ABREU, Mariana Piaia, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, May, 2014. **Linkages in the network economy: an applied study on the Brazilian economic structure.** Adviser: Newton Paulo Bueno. Co-advisers: Luciano Dias de Carvalho and Fabrício de Assis Campos Vieira.

This research questioned how the Brazilian structure, emphasizing sectoral linkages, responds to the various diffusion processes such as the spread of demand shocks, spreading inflation and technological diffusion. The social system studied are the sectors of the Brazilian economy, the communication channels are the relationships that these sectors have with each other, i.e., as a sector contributes to the production of other sectors, and innovation is regarded as one, a shock, and the shock effect of an exogenous variation in the sectors in the Brazilian economy may be a demand shock, an inflationary process or new technology. It is understood that the diffusion processes are given according to a network of contacts, which depends on how the interactions is composed of sectors of the economy. Depending on how they relate sectors, a shock may be spread with different shapes and speeds. Information cascades that occur in networks occur via social contagion, depending on the network topology, can spread and reach a large number of sectors. A recent method developed by the network approach allows starting an attempt to answer crucial questions about the economic dynamics. It is argued that this procedure complements the analysis of traditional input-output in two ways: (i) infer how specific characteristics of the underlying networks influence the dynamics of diffusion processes; (ii) analyze the effects of different chain network and identify how different diffusion processes take place in the Brazilian economy. The hypothesis is that there are certain key sectors depending on the diffusion process that wants to analyze what was found. We noticed the difference of the key sectors in the three diffusion processes, both for conventional analysis of input-output matrix as for standard analysis of key network sectors. This result justifies the analysis and suggests that this approach is a good starting point for the study of diffusion processes economies.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

A difusão da inovação é tradicionalmente definida como o processo em que a inovação é comunicada entre os membros de um sistema social, através de certos canais, ao longo do tempo. O processo de difusão é um dos desenvolvimentos sociais mais estudados, com pesquisas em praticamente todas as áreas das ciências sociais. A difusão é uma espécie de mudança social, é o meio pelo qual ocorrem alterações na estrutura e na função de um sistema. Quando novas ideias são inventadas, difundidas, adotadas ou rejeitadas, acarretam em certas consequências, fazendo com que ocorra uma transformação no sistema social (ROGERS, 2003).

Podem-se identificar alguns elementos-chave no processo de difusão: (i) inovação, (ii) canais de comunicação, e (iii) sistema social. A inovação é uma ideia, objeto ou prática que é percebida como nova pelos membros do sistema social. Os canais de comunicação são os meios pelos quais a informação é transmitida para o sistema social e dentro dele. O sistema social consiste em indivíduos, organizações ou agências, enfim, agentes, que tenham características comuns e sejam potenciais adotantes da inovação (MAHAJAN; PETERSON, 1985)¹. Neste trabalho, o sistema social a ser estudado é a economia brasileira, em específico, os seus setores econômicos². Os canais de comunicação são as relações que estes setores têm uns com os outros, ou seja, o quanto um setor contribui para a produção de outros setores. A inovação, neste caso, é tida como uma nova informação, um choque, sendo choque um efeito de uma variação exógena nos setores na economia brasileira, podendo ser um choque de demanda, um processo inflacionário ou uma nova tecnologia.

Assim sendo, comprehende-se que os processos de difusão dão-se segundo uma rede de contatos, que depende de como se compõe as interações dos agentes em questão. A perspectiva da rede de interação social destaca a natureza da interdependência das relações sociais e o impacto destas sobre o comportamento dos agentes (TUTZAUER; KNON; ELBIRT, 2001). Assim, a influência da rede, isto é, a rede de “quem influencia quem”,

¹ Mahajan e Peterson (1985) definem ainda um quarto elemento, o tempo. O tempo relaciona a taxa em que a inovação é difundida ou a velocidade relativa com que a inovação é adotada pelos membros do sistema social.

² Estes são os setores contemplados pela matriz insumo-produto, ao nível de 42 setores, apresentados no Anexo B.

impacta na dinâmica coletiva. Esta irá determinar a probabilidade de que grandes “cascatas de informação” possam ser provenientes de pequenas ações, a capacidade dos agentes relevantes para desencadear tais cascatas, e a importância da estrutura do *cluster* para desencadear e propagar grandes cascatas. Na literatura, como metáfora para “cascatas de informação”, utiliza-se o termo “epidemias”. Assim como epidemias, a propagação de qualquer informação está positivamente relacionada com o tamanho da rede e com o quanto ela está conectada. A agregação dos agentes para a tomada de decisão coletiva pode ser entendida em termos de contágio social, nas quais as informações são “transmitidas” de um agente para outro de forma que se pareça com a transmissão de uma doença (WATTS, 2004).

Dependendo de como os agentes se relacionam, um choque de demanda, um processo inflacionário ou uma determinada tecnologia, podem se difundir com formas e velocidades diferentes. Como as cascatas de informação que ocorrem nas redes se dão via contágio social, os movimentos que se iniciam de forma descentralizada, dependendo de como os setores da economia se relacionam (topologia da rede), podem se espalhar e atingir um grande número de setores. Um conceito fundamental para a compreensão da natureza social do processo de difusão é o de “massa crítica”, o ponto após o qual a difusão se torna mais “autossustentável”. A noção de massa crítica é originada na física, na qual foi definida como a quantidade de material radioativo necessária para produzir uma reação nuclear. Assim, analogamente, em sistemas sociais, a massa crítica ocorre no ponto em que agentes suficientes são atingidos pela inovação (ROGERS, 2003).

Ao analisar o efeito da massa crítica sobre o comportamento de adoção dos agentes em um sistema, é útil pensar em redes de comunicação em um nível micro. O limiar (*threshold*) individual explica o processo ao nível micro, através do qual as decisões individuais, quando agregadas, formam a massa crítica em um sistema. A massa crítica é uma espécie de “ponto de inflexão” (*tipping point*) ou “limiar social” (*social threshold*) no processo de difusão (GLADWELL, 2000). Depois de a massa crítica ser atingida, as normas do sistema social incentivam ainda mais a adoção individual de agentes do sistema. A probabilidade de adotar uma inovação pode mudar dramaticamente em uma segunda ou terceira exposição, na qual o salto repentino ocorre quando o limiar do indivíduo na adoção da inovação é excedido. Valente (1996) mostra que a noção de limiar pode ser utilizada para classificar os agentes de acordo com a sua capacidade de inovação no que diz respeito ao seu sistema e com a sua capacidade de inovação em relação aos seus parceiros da rede pessoal. Este tipo de análise pode localizar os agentes que tenham sido atingidos primeiramente pelo processo de difusão, mas tarde em relação aos seus parceiros da rede pessoal.

Desta forma, sabe-se que a comunicação intersetorial conduz o processo de difusão através da criação de uma massa crítica de adotantes. Um princípio óbvio da comunicação é que a transferência de ideias ocorre com maior frequência entre agentes semelhantes, ou homofílicos. Homofilia é o grau em que dois ou mais agentes que interagem são semelhantes em certos atributos; heterofilia, por consequência, é o grau em que dois ou mais agentes que interagem são diferentes em alguns atributos. A compreensão de como a natureza da comunicação flui através de redes interpessoais é reforçada pelos conceitos de homofilia e heterofilia: a comunicação é mais provável, mais eficaz e mais fácil entre agentes homofílicos, no entanto, neste caso, a difusão pode não ocorrer. A natureza da difusão exige que os agentes tenham algum grau de heterofilia.

Desta forma, dependendo da característica das relações entre os agentes, ou seja, dependendo da topologia da rede, é viável deduzir que os processos de difusão assumirão comportamentos diferentes. Sendo assim, a compreensão das relações intersetoriais torna-se a base para se entender os processos de difusão em uma economia. Nos últimos anos, ocorreram grandes avanços relacionados à teoria de redes, que permitem ampliar o escopo dos modelos tradicionalmente utilizados para estudar esses processos. Para Watts e Dodds (2009), a vulnerabilidade das redes ao contágio social é ainda um fenômeno pouco compreendido, mas abre claramente novas questões de pesquisa, bem como sugere novas possibilidades para desencadear ou impedir as cascatas de influência social.

1.2 O problema e a sua importância

A motivação para a presente pesquisa diz respeito ao entendimento de como os setores da economia brasileira se relacionam e, desta forma, como eles reagem aos processos de difusão. Dependendo de como os setores se comunicam, os processos de difusão podem se dar de formas e em velocidades diferentes. Assume-se que as cascatas de informação que ocorrem nas redes se dão via contágio social. Assim, movimentos setoriais, que se iniciam de forma descentralizada, dependendo da topologia da rede, podem se espalhar e atingir boa parte dos setores de uma economia.

Nesta pesquisa, questiona-se como a estrutura brasileira, enfatizando os encadeamentos setoriais, responde aos diversos processos de difusão, como a propagação de choques de demanda, espalhamento da inflação e difusão tecnológica. A propagação de

choques de demanda e o espalhamento da inflação são agrupados em um mesmo choque, e parte-se da ideia de que estes processos de difusão se dão em setores mais próximos, de base produtiva similar, o que, em análise de redes, podemos chamar de nível local. A difusão tecnológica é considerada como um processo de difusão que se dá mais a nível global da rede, em que a técnica se espalha para setores não necessariamente correlatos (de mesma base produtiva), nos quais os caminhos mais longos são mais significativos.

Os métodos recentes desenvolvidos pela abordagem de redes permitem iniciar uma tentativa de resposta a questões cruciais sobre a estrutura da economia. Tais métodos, entretanto, ainda não têm sido devidamente contemplados em estudos do gênero no Brasil. Essa linha de pesquisa tem sido seguida pelos recentes modelos desenvolvidos pela nova economia social, enfatizando as interações entre os agentes como um importante componente da dinâmica de ajuste de sistemas a choques exógenos (DURLAUF; YOUNG, 2001).

Uma das principais questões é descobrir quem são os agentes-chave, no caso, os setores-chave, para a difusão de processos como cascatas de informação nos sistemas estudados. Focalizar a política econômica em determinados setores, ao invés de adotar políticas horizontais, pode muitas vezes ser a forma mais eficiente de desencadear comportamentos e práticas compatíveis com a preservação da estabilidade macroeconômica dos sistemas em condições adversas.

No presente trabalho, faz-se o estudo de como eventos exógenos produzem efeitos sobre o sistema em que eles ocorrem, os quais podem ser estudados endogenamente, bem como os processos de espalhamento da inflação e difusão tecnológica. Com base nos *insights* de Acemoglu et al. (2012), a pesquisa foca em processos de difusão de choques sobre a economia brasileira, considerando os índices de encadeamento setoriais como uma *proxy* para o grau de interação em rede do setores produtivos.

Argumenta-se que esse procedimento complementa as análises de insumo-produto tradicionais em dois sentidos. Primeiro, ao computar os indicadores de beta-centralidade (como feito por Acemoglu, Ozdaglar e Tahbaz-Salehi, 2013) pode-se avaliar os efeitos de encadeamento em rede e identificar como os diferentes processos de difusão se dão na economia brasileira, a partir da análise dos seus setores econômicos. O segundo sentido em que a análise de redes permite completar os estudos tradicionais é o de possibilitar inferir como características específicas das redes subjacentes influenciam a dinâmica da difusão de inovações. Por exemplo, sistemas mais heterogêneos, em que haja maior variância na distribuição de pesos setoriais, tendem a apresentar limiares de percolação mais baixos. Isto é, em sistemas econômicos onde alguns setores têm peso desproporcionalmente alto, choques

exógenos tendem a se espalhar mais rapidamente (NEWMAN, 2012). Desta forma, se a estrutura da economia torna-se mais centralizada, isto é se alguns setores passam a assumir um peso significativamente maior nessa estrutura, por exemplo, se o país se desindustrializa aumentando sua especialização em *commodities*, a teoria sugere que ele se torna mais vulnerável a choques externos. Tais choques atingirão a maioria dos setores produtivos domésticos mais rapidamente.

Não se espera apenas analisar a interdependência dos setores produtivos da economia brasileira. Pretende-se, ao detectar a interdependência destes setores, identificar como se dão os processos de difusão na economia brasileira. A hipótese de partida é que há diferentes setores-chave, a depender do processo de difusão que se queira analisar. Desta forma, a compreensão das relações intersetoriais torna-se a base para se entender os processos de difusão em uma economia. Nos últimos anos, ocorreram grandes avanços relacionados à teoria de redes, que permitem ampliar o escopo dos modelos tradicionalmente utilizados para estudar esses processos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Estudar, com base na literatura recente sobre a análise de redes, como a estrutura da economia brasileira, definido pelos encadeamentos setoriais, reage aos processos de difusão, como a propagação de choques sobre os setores domésticos: choques de demanda, espalhamento da inflação e a difusão de tecnologias.

1.3.2 Objetivos específicos

Em específico, objetiva-se:

- (i) Caracterizar as redes relevantes da economia brasileira para diferentes processos de difusão, a fim de identificar o padrão de inter-relações setoriais;

- (ii) Analisar os limiares da dinâmica de processos específicos de difusão da economia brasileira, representada pelas redes;
- (iii) Analisar como se dá a difusão de um choque de demanda na economia brasileira, a partir da inter-relação dos setores da economia e o padrão de espalhamento da inflação nos setores da economia brasileira;
- (iv) Estudar o processo de difusão tecnológica nos setores da economia brasileira.

1.4 O escopo do trabalho

O presente trabalho conta, além desta seção introdutória e da conclusão, com três partes principais. A primeira parte, o Referencial Bibliográfico, engloba os pontos fundamentais tratados na pesquisa: (i) tradições de estudo da teoria da difusão, (ii) análise de redes sociais, e (iii) processo de difusão em redes sociais. Expostas estes três pontos, parte-se para a segunda etapa da pesquisa, a Metodologia, na qual se apresentam as noções básicas da teoria de redes e algumas medidas topológicas de rede. A última parte faz-se a análise da matriz insumo-produto da economia brasileira a partir das redes sociais, avaliando os três diferentes processos de difusão objetivados.

2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

Esta pesquisa estuda os diferentes processos de difusão que se dão nos setores da economia brasileira, a partir da teoria de redes sociais. Para isto, parte-se do estudo da teoria de difusão, em uma primeira seção, passando-se à teoria de redes, na segunda seção, chegando à terceira seção aos processos de difusão em redes sociais. A Figura 1 sintetiza o procedimento de análise:

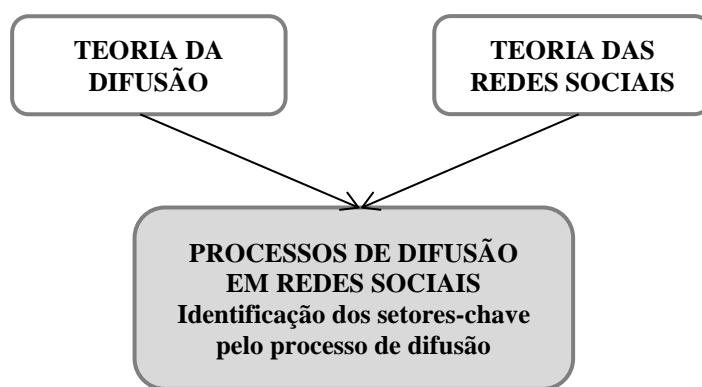


Figura 1 – Procedimento de pesquisa

Fonte: Elaboração própria.

As muitas áreas que utilizam a teoria da difusão convergem suas conclusões em dois pontos: a importância dos líderes de opinião, que nesta pesquisa são os setores-chave, e a distribuição da adoção da inovação segue a forma de *S*, em que a adoção se dá lentamente, atinge um determinado número de setores e então ocorre uma rápida ascensão da taxa de adoção, voltando a crescer lentamente após o ápice da difusão.

A partir da primeira conclusão da teoria da difusão, percebe-se a importância da identificação dos setores-chave da economia. Acredita-se nesta pesquisa que a análise topológica de rede dá melhor subsídio para a seleção dos setores de maior importância, bem como essa importância irá depender do enfoque analisado; por exemplo, o setor mais importante para difundir uma inovação tecnologia, não necessariamente será o relevante no caso de um choque de demanda sobre a economia, ou até mesmo no espalhamento da inflação. Assim, o comportamento dos diferentes setores-chave, bem como o grau de conexão entre os setores, mudará o formato de difusão de determinada informação, segunda conclusão dos estudos sobre difusão. A topologia de rede influencia a forma como os processos de difusão se dão.

2.1 Processo de difusão: tradições de estudo

Paradigma, para Kuhn (2012), é um modelo seguido por uma determinada prática científica, que fornece um conjunto padronizado de regras e normas para esta prática. Desta forma, paradigma é um conjunto de leis, teorias, aplicações e instrumentos que servem de modelo para a investigação científica realizada. Kuhn (2012) ressalta que o paradigma não é um conceito estático, é um fator de progresso da ciência, já que o cientista, ao estudar detalhadamente determinado fato, acaba por expandir o conhecimento para além do paradigma inicial.

O reconhecimento do novo paradigma desencadeia um grande empenho intelectual de vários cientistas atraídos para o campo, seja para avançar a nova conceituação com a sua pesquisa, seja para refutar alguns dos seus aspectos. Aos poucos, desenvolve-se um consenso científico sobre o campo, e é provável que com o tempo surja uma rede informal de pesquisadores em torno deste paradigma intelectual para estudar o tema comum, chamado por Rogers (2003) de colégio intelectual. O colégio invisível centrado em um paradigma intelectual fornece ao cientista informações que ele precisa para reduzir a incerteza do processo de pesquisa. Assim, o colégio invisível de cientistas e um determinado paradigma fornecem ao pesquisador segurança e estabilidade das incertezas de uma frente de pesquisa ativa.

O estudo sobre a difusão do milho híbrido de Ryan e Gross (1943) estabeleceu o paradigma básico para o estudo da difusão, que foi logo seguido por um número crescente de estudiosos de várias disciplinas. A maioria dos estudiosos de difusão, independentemente da sua disciplina, reconhecem que eles estão investigando um tipo especial de processo de comunicação. A quantidade de atividade científica dedicada a investigar a difusão de inovações tem aumentado a uma taxa acentuada desde o paradigma revolucionário e formaram-se diversas tradições de pesquisa.

Cada tradição de pesquisa consiste em uma disciplina acadêmica, como a antropologia, o marketing e a geografia, ou um subcampo, por exemplo, sociologia primitiva e sociologia rural. Cada tradição, de forma geral, concentra-se na investigação da difusão de um tipo principal de inovação, como identificou Rogers (2003)³.

³ O Anexo A apresenta um quadro com as principais áreas de pesquisa de difusões, o estudo típico de cada processo, seus métodos de coleta e análise de dados, a unidade de análise e os principais resultados.

Conforme Rogers (2003), a antropologia é a tradição mais antiga de pesquisa em difusão e sua abordagem metodológica a diferencia. A maioria dos antropólogos coletam os dados sobre difusão diretamente de seus entrevistados, obtendo importantes informações sobre os detalhes de nível micro da difusão. Se o estudo for bem sucedido, o processo de difusão contará a história do ponto de vista dos entrevistados, transmitindo as percepções da inovação e dos agentes de mudança. Em comparação com outras tradições de pesquisa, a antropologia tem se preocupado mais com a transferência de inovações de uma sociedade para outra, em comparação com a difusão de uma nova ideia dentro de uma sociedade ou sistema. Em decorrência da sua rápida aparição no cenário de pesquisa de difusão, a antropologia influenciou as outras tradições desta pesquisa, particularmente o início da sociologia e a sociologia rural. A tradição da sociologia precoce remonta ao estudo de Tarde (1903), mas é no final dos anos 1920 que as investigações desta área começam a surgir. O objetivo dos sociólogos deste campo, ao traçar a difusão de uma única inovação em determinada região, se dá com o intuito de compreender o processo social de mudança. Bowers (1937), ao estudar a difusão dos aparelhos radioamadores nos Estados Unidos, foi o primeiro pesquisador a descobrir que canais interpessoais são mais importantes que os canais de mídia de massa para adotantes posteriores do que para os anteriores, e que a distribuição dos adotantes se dava em uma curva em forma de *S*, quando o número de adeptos fosse traçado por ano.

Poucos antropólogos utilizavam análise quantitativa de dados como abordagem metodológica, a qual foi seguida pela maioria das outras tradições. O paradigma intelectual que norteia a teoria da difusão só se consolidou com a tradição da sociologia rural. Durante os anos 1920 e 1930, vários estudos paradigmáticos foram concluídos, mas foi o trabalho de Ryan e Gross (1943), mais que qualquer outro estudo, que influenciou a metodologia, o enquadramento teórico e as interpretações posteriores da pesquisa sobre difusão. Ryan e Gross (1943) desenvolveram sua pesquisa sobre a difusão das sementes de milho híbrido entre os agricultores de Iowa, nos Estados Unidos. As sementes híbridas tinham a vantagem sobre sementes normais, já que as híbridas foram projetadas para serem mais resistentes e de mais fácil colheita mecânica, levando ao maior rendimento do produto. No entanto, as sementes híbridas tinham a desvantagem de serem incapazes de se reproduzir, e os agricultores teriam de comprar as novas sementes híbridas a cada safra. Uma das principais conclusões foi que os primeiros a adotar as novas sementes tendiam a ser os agricultores com maiores fazendas e os agricultores mais educados, já que fazendas maiores são mais capazes de assumir riscos e os mais educados podem contribuir para uma melhor compreensão do retorno potencial.

Ryan e Gross (1943) deram uma significativa contribuição à literatura ao caracterizar os tipos de tomadores de decisão. Eles distinguiram cinco categorias diferentes entre os adotantes da inovação: (i) inovadores; (ii) primeiros adotantes; (iii) maioria inicial; (iv) maioria tardia; e (v) retardatários. Os autores identificaram que as diferenças entre cada uma das categorias dava-se em função de onde o adotante ouviu sobre a semente híbrida, ou seja, a adoção da nova tecnologia dependia de onde a informação procedia. Os inovadores tomaram conhecimento sobre as novas sementes via revistas de agricultura e vendedores, já os primeiros adotantes adquiriram conhecimento a partir dos mesmos informantes dos inovadores e também de conversas com estes inovadores. As outras categorias basearam-se cada vez menos em fontes externas, e foram influenciadas cada vez mais por adotantes conhecidos. Os retardatários, por sua vez, não adotaram a nova tecnologia até que todos a estivessem usando. Desta forma, os autores mostraram, entre outras coisas, que são fatores sociais, e não econômicos, que eram as influências importantes sobre adoção de uma nova tecnologia.

Durante a década de 1950 muitos estudos de difusão foram realizados, principalmente por sociólogos rurais. O segundo estudo de maior contribuição para o paradigma foi a pesquisa de Coleman, Katz e Menzel (1966) da difusão de tetraciclina, um novo medicamento entre os médicos. Esta investigação começou quando o diretor de marketing da empresa farmacêutica Pfizer entrou em contato com os três sociólogos, pedindo que eles determinassem a eficácia da publicidade da tetraciclina da Pfizer em revistas médicas. Esta questão de marketing foi convertida em um estudo de difusão muito influente (ROGERS; SINGHAL; QUINLAN, 2010). Outros estudos de inovação que envolve a área da saúde são aplicados aos métodos de planejamento familiar, tal qual o experimento de Freedman e Takeshita (1969) em Taiwan, e à prevenção do HIV/AIDS, como o trabalho de Singhal e Rogers (2003). Inúmeras campanhas têm mostrado resultados, como a taxa de mamografia que, nos EUA, triplicou nas últimas três décadas e a taxa de tabagismo tem diminuído, a taxas lentas. Uma boa parte da melhoria da saúde também ocorreu através da difusão espontânea de estilos de vida saudáveis. O modelo de difusão está centralmente envolvido tanto na difusão espontânea, como em intervenções planejadas para a melhoria da saúde (ROGERS, 2003).

Com a institucionalização do estudo da comunicação, a nova geração de estudos preocupou-se com a difusão de notícias sobre eventos, através, principalmente, do estudo de Deutschmann e Danielson (1960), em que os autores descrevem regularidades aparentes no processo de difusão e diferenças nas funções dos meios comunicação, como jornais e rádio. A partir dos anos 1960, a tradição da difusão de marketing expandiu-se estimulada pelos estudos de adoção de novas tecnologias de comunicação nas organizações e pelo uso da internet e

comercialização de novos produtos e serviços. Um foco particular desta área de pesquisa tem sido a difusão de serviços de telecomunicações, como o estudo de Bass (1969) para estimar a taxa de adoção de um novo produto, que tem atraído e mantido o interesse de um número de estudiosos de marketing de pesquisa.

Originalmente, o modelo Bass (1969) foi utilizado para prever a taxa de adoção de bens de consumo duráveis, mas desde então tem sido aplicado a uma ampla gama de novos produtos e serviços. Na literatura sobre a difusão de marketing é enfatizada a previsão da taxa de adoção de novos produtos e como os atributos percebidos de uma inovação, atrelados à publicidade e a venda pessoal afetam a taxa de compra. Além do número de adeptos de um novo produto, esta área preocupa-se também com a quantidade de uso do produto ao longo do tempo (ROGERS, 2003).

Apresentou-se até aqui uma visão geral dos vários tipos de pesquisa de difusão. Apesar de estarem em campos diferentes, estas áreas de pesquisa obtiveram algumas conclusões gerais, tais quais a distribuição da adoção das inovações segue a forma de S e a importância dos líderes de opinião. A curva de adoção cumulativa em forma de S resulta de um simples gráfico do número acumulado de adotantes de uma inovação no eixo vertical e o período de tempo no eixo horizontal, como se tem na Figura 2:

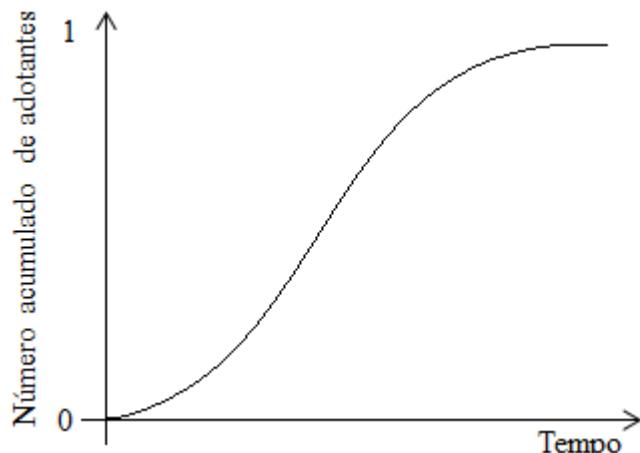


Figura 2 – Curva de difusão em forma de S

Fonte: Elaboração própria.

Desta forma, o padrão cumulativo de difusão segue um padrão de crescimento dado aproximadamente por uma função logística de um parâmetro:

$$y_t = \frac{K}{1 + e^{-(\alpha + \beta t)}} \quad (1)$$

na qual y é a proporção de adotantes, K é o valor máximo de adoção, α é uma medida da difusão inicial e β mensura a velocidade da difusão e t é o tempo. Este modelo é usado para comparar diferentes taxas de crescimentos de várias inovações, porém, conforme Valente (2005), é extremamente limitado em sua aplicabilidade.

O modelo de difusão logístico apresenta um problema fundamental: a inicialização da difusão. Este modelo não explicava a gênese dos adotantes, apenas mostra como se comporta o processo de difusão da inovação após os efeitos iniciais de propagação. O crescimento inicial era dado por *feedbacks* fora dos limites do modelo (STERMAN, 2000).

O “Modelo de Bass” (1969; 1980) avança ao criar um modelo de dois parâmetros, um de inovação e outro de imitação, ou seja, assume que os potenciais adotantes tomam conhecimento da inovação através de informações externas:

$$y_t = \beta_0 + (\beta_1 - \beta_0)y_{t-1} - \beta_1(y_{t-1})^2 \dots \quad (2)$$

em que y é a proporção de adotantes, β_0 o parâmetro para taxa de inovação e β_1 o parâmetro para taxa de imitação, que é o grau de adoção devido a adotantes anteriores. A taxa de adoção da inovação total é a soma das adoções resultantes da influência interna (boca-boca) e de influências externas, geralmente interpretadas como efeito de marketing.

O Modelo de Bass incorpora a porcentagem de adotantes em cada ponto do tempo e, portanto, faz uma melhor estimativa do crescimento atribuível a persuasão da rede pessoal. Estas estimativas de nível macro consideram todos interagindo com todos na mesma intensidade, viesando a análise (VALENTE, 2005). Para corrigir este viés, podem-se introduzir os resultados da análise estrutural da rede no modelo de difusão.

No modelo, a probabilidade de qualquer adotante potencial adotar como resultado da exposição a uma determinada quantidade de marketing e outras influências externas em cada período é constante. Por conseguinte, as influências externas fazem com que uma fração constante de população adotante potencial adote a inovação a cada período de tempo. A adoção via boca-boca é formulada exatamente como no modelo de difusão da inovação logística (ROGERS, 2003). É o efeito da exposição social, também chamado de imitação. Os agentes que adotaram a tecnologia recentemente entram em contato com os agentes que ainda não adotaram, expondo estes à inovação, fazendo com que a população de adotantes aumente.

Quando a inovação ou o novo produto é introduzido, a taxa de adoção consiste inteiramente de pessoas que aprenderam sobre a inovação a partir de fontes externas de informação, tais como o marketing. Como o conjunto de potenciais adotantes declina

enquanto a população de adotantes cresce, a contribuição do marketing para a taxa de adoção total diminui, enquanto a contribuição do boca-boca aumenta. Logo, o boca-boca domina, e o processo de difusão se dá como no modelo de difusão logística (STERMAN, 2000). A grande falha deste tipo de modelo é que ele não discute redes de contato entre os agentes, na qual é assumido que cada indivíduo tem uma oportunidade igual, por unidade de tempo, de entrar em contato com todos os outros (NEWMAN, 2012; WATTS, DODDS, 2007).

Valente (1996) acentua que, embora muitos fatores influenciem a difusão da inovação, os contatos interpessoais dentro e entre as comunidades são influências importantes sobre o comportamento de adoção de novas ideias e práticas. Assim sendo, a importância da influência interpessoal na difusão de inovações leva naturalmente à teoria das redes sociais.

2.2 Análise de Redes: evolução conceitual

Incialmente, a teoria dos grafos focou seu estudo em redes regulares, com o trabalho que Leonhard Euler submeteu à Academia de Ciência de St. Petersburg – a qual era funcionário –, “*Solutio problematis ad geometriam situs pertinentes*”, em 1736, publicado somente em 1741, com a busca para a solução de um problema relacionado com um circuito formado por sete pontes em Königsberg, cidade da Prússia, atualmente Kaliningrado, na Rússia. A cidade de Königsberg foi construída à margem rio Pregel, e abarca duas grandes ilhas. A posição da cidade à tornou muito importante para o comércio, fazendo com que fosse construídas sete pontes para ligar todos os pontos da cidade, facilitando a passagem. Na Figura 3, apresenta-se o mapa de Königsberg – o rio aparece grifado em azul e as sete pontes em laranja.



Figura 3 – Mapa de Königsberg em 1652
Fonte: RIBBE; ROSENBAUER, 2001.

O problema começou em 1736, quando o prefeito Carl Leonhard Gottlieb Ehler pediu que fosse feito um circuito usando as pontes, de forma que fosse possível atravessar todas as pontes somente uma vez e retornar ao ponto de partida. Não foi achada solução dentro da cidade, então o Prefeito pediu que Euler ajudasse a encontrar uma solução. Inicialmente Euler não aceitou resolver o problema por acha-lo muito trivial, contudo, ele começou o estudo, pois lhe pareceu estar relacionado a alguns trabalhos da época chamados de “geometria da posição”, de Gottfried Wilhelm Leibniz. Esta geometria de posição é derivada no que se conhece hoje como Teoria dos Grafos (HOPKINS; WILSON, 2004).

Euler (1736) começou sua análise com a simplificação do problema inventando um sistema apropriado para representar a travessia das pontes: usa letras minúsculas para representar a travessia de uma ponte e letras maiúsculas para as massas de terra – figura 4:

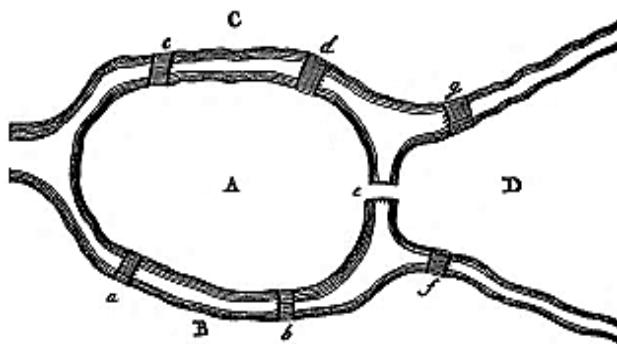


Figura 4 – Diagrama de Euler do mapa de Königsberg

Fonte: EULER, 1736, p. 129.

Após o estudo e desenvolvimento desta nova forma de análise, o autor descobriu que o problema não tinha solução. Euler (1736) mostrou que você pode responder à pergunta por tabulação do grau ou valência de cada vértice - o número de arestas reunidas no vértice. Se um grafo não tem mais do que dois vértices de grau ímpar, então algum caminho percorre cada aresta uma vez. Na rede de Königsberg todos os quatro vértices tem grau ímpar.

Na pesquisa, Euler (1736) trabalhou com vértices e arestas, uma intuição da forma como é utilizado na atualidade. Ao utilizar a teoria dos grafos, pode-se representar o problema das sete pontes de Königsberg, como na Figura 5. Nela, as porções de terra são representadas pelos vértices (também chamados de nós), como a mesma nomenclatura de Euler (1736), e as pontes dadas pelas arestas (os *links*):

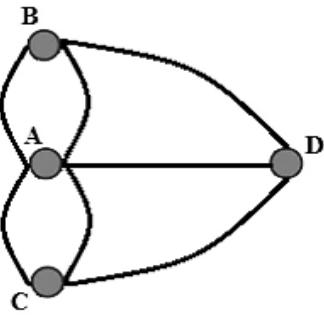


Figura 5 – Problema das sete pontes de Königsberg: representação em grafo
Fonte: Elaboração própria.

Devido à natureza do problema e a simplicidade da solução usando vértices e arestas, este é um problema muito importante e ponto inicial para começar a aprender Teoria dos Grafos. Este trabalho é considerado o primeiro teorema da teoria dos grafos, por apresentar as bases matemáticas dessa teoria.

As técnicas da teoria dos grafos logo provaram ser úteis para mais do que planejar um passeio pela cidade de Königsberg. Com o século XX, a teoria dos grafos tornou-se mais estatística e algorítmica. No final dos anos 1950, dois matemáticos, Erdős e Rényi (1959; 1960), descreveram uma rede de topologia complexa via teoria dos grafos, supondo grafos aleatórios, que são normalmente formados inicialmente com vértices isolados e vão-se adicionando arestas, uma de cada vez. Este trabalho foi um marco para descrever as redes de forma mais realista. Os autores descobriram que um “componente gigante”, uma peça conectada do grafo que mede a maioria dos vértices, surge de repente, quando o número de arestas excede metade do número de vértices (HAYES, 2000)⁴.

Até então, as redes eram tidas como completamente regulares, todos tinham ligações com todos. Com esta mudança de visão, redes de grande escala sem princípios de design aparente têm sido descritas como grafos aleatórios, propostas como a realização mais simples e direta de uma rede complexa.

Erdős e Rényi (1959; 1960) propuseram uma rede em que: (i) o número total de vértices estivesse fixado; e (ii) a probabilidade de que dois vértices arbitrários estivessem conectados seria igual a uma probabilidade p independente, de Poisson⁵. Por conseguinte, a

⁴ Uma detalhada revisão sobre redes aleatórias encontra-se nos trabalhos de Bollobás (1985), Cohen (1988) e Karoński e Ruciński (1997).

⁵ Em média, a rede contém $pN(N - 1)/2$, em que N é o número de vértices. O grau de distribuição é binomial $P(k) = \binom{N-1}{k} p^k (1-p)^{N-1-k}$, em que k é a centralidade do grau do vértice – número total de ligações de um vértice. Desta forma a centralidade de grau média da rede é dado por $\langle k \rangle = p(N - 1)$. Para um grande número de vértices – N grande –, o grau de distribuição da rede toma a forma de Poisson, $P(k) = e^{-k} \langle k \rangle^k / k!$.

distribuição diminui rapidamente com o aumento de vértices, ou seja, com o aumento do grau da rede. Distribuição de Poisson é característica de redes aleatórias clássicas (DOROGOVSEV; MENDES, 2002).

A Figura 6 apresenta um exemplo de uma rede aleatória discutida por Erdős e Rényi (1959), com 16 vértices e a probabilidade de ligação de 1/7. Este é um dos modelos mais simples de rede que existe; a rede aleatória tornou-se a pedra angular da disciplina conhecida como matemática discreta. No entanto, como um modelo de rede do mundo real, ele tem algumas falhas graves. Talvez o mais grave é o seu grau de distribuição, que é bastante diferente daqueles vistos na maioria das redes do mundo real. Por outro lado, a rede aleatória tem algumas propriedades desejáveis, especialmente o fato de que muitas características do seu comportamento poderem ser calculadas com exatidão (NEWMAN; WATTS; STROGATZ, 2002):



Figura 6 – Exemplo de rede aleatória

Fonte: NEWMAN; WATTS; STROGATZ, 2002, p. 2568.

Em redes aleatórias, podemos encontrar comportamentos característicos, tais quais: (i) comprimento médio da rede aumenta conforme aumentam as arestas, ou seja, conforme aumenta o número de conexões; (ii) o coeficiente de agrupamento (de *cluster*) tende a zero quando aumenta-se o número de conexões⁶. Desta forma, podemos concluir que em redes aleatórias, ao se aumentar as conexões, um componente gigante surge. A existência de uma probabilidade crítica em que se forma uma componente gigante é uma das mais interessantes descobertas da teoria dos grafos aleatórios. Albert e Barabási (2002) indicam que a teoria indica, na linguagem de redes, a existência de uma probabilidade crítica de tal forma que abaixo desta probabilidade a rede é composta por grupos isolados, mas acima desta um grande grupo, um componente gigante, se estende por toda a rede. Este fenômeno é similar à

⁶ Formalmente, o comprimento médio da rede aleatória é dado por $L(p) \cong \ln(N)/\ln(\langle k \rangle)$, e o coeficiente de agrupamento por $C(p) = p = \langle k \rangle/N$ (ALBERT; BARABÁSI, 2002).

transição de percolação, um tema estudado pela física e pela matemática⁷. Na realidade, uma transição de percolação e o surgimento de um aglomerado gigante são o mesmo fenômeno expresso em diferentes maneiras, a depender da área de pesquisa. Albert e Barabási (2002) ainda ressaltam que a teoria da percolação não se limita às redes aleatórias. Esta perspectiva aborda questões cruciais para a compreensão de redes reais, no que diz respeitos a importantes aspectos da topologia da rede.

Contudo, muito embora muitas modelagens tenham utilizado grafos aleatórios, é cada vez mais reconhecido que a topologia e a evolução das redes reais são regidas por princípios organizadores robustos. A intuição claramente indica que as redes reais não são completamente aleatórias, nem completamente regulares. As redes de mundo-pequeno (*small-world*), desenvolvidas por Watts e Strogatz (1998), trazem uma forma mais realista de se analisar as interações do mundo real.

Watts e Strogatz (1998) introduziram o conceito de rede de mundo-pequeno (*small-world*). O que inspirou este modelo foi o estudo de Milgram (1967) que procurava determinar se a maioria dos pares das pessoas da sociedade era ligada por cadeias curtas de conhecidos. A pergunta que norteava o experimente era: quantos conhecidos são necessários para conectar dois indivíduos escolhidos ao acaso? Para começar, Milgram (1967) escolheu duas pessoas-alvo, a esposa de um estudante de pós-graduação em Teologia, na cidade de Sharon, em Massachusetts, e um corretor da bolsa de valores, em Boston. Ele selecionou Wichita, no Kansas, e Omaha, em Nebraska, como pontos de partida para o estudo por se diferenciarem significativamente da região das pessoas-alvo. Houve pouco consenso sobre quantos *links* seriam necessários para conectar as pessoas dessas áreas remotas.

A pesquisa recrutou aleatoriamente certo número de pessoas, via carta, e pediu que elas encaminhassem a carta à pessoa-alvo, através de um único conhecido, para atingir a meta o mais rápido possível. A carta continha um pequeno resumo do propósito do estudo, uma fotografia, o nome e o endereço, entre outros detalhes pessoais de uma das pessoas-alvo, juntamente com as instruções das quatro etapas seguintes: (i) adicionar o nome à lista no final da folha, para que a próxima pessoa que receba a carta saiba de quem ela veio; (ii) retirar um cartão, preenchê-lo e devolvê-lo para a Universidade de Harvard, para permitir o acompanhamento da carta, enquanto esta se move em direção à pessoa-alvo; (iii) se conhecer a pessoa-alvo enviar diretamente para ela – fazer isso apenas se conhecer a pessoa-alvo em uma base de primeiro nome (significativa intimidade para os padrões da época); e (iv) se não

⁷ Para mais informações ver os trabalhos de Stauffer e Aharony (1992, [1848]) e Ben-Avraham e Havlin (2000).

conhecer a pessoa-alvo em uma base pessoal, enviar a carta para um contato pessoal que é mais provável que conheça a pessoa-alvo – a carta pode ser enviada para qualquer amigo, parente ou conhecido, mas deve ser alguém que se conheça pelo primeiro nome.

Ao concluir as correntes, Milgram (1967) conseguiu determinar o número de pessoas necessárias para entregar a carta ao alvo. O número médio de intermediários necessários para que fosse atingido o alvo foi de seis pessoas. Este resultado ficou popularmente conhecido como “princípio dos seis graus de separação”. O princípio dos seis graus de separação é intrigante porque sugere que, apesar da enorme dimensão da sociedade, ela pode ser facilmente percorrida seguindo laços sociais de uma pessoa para outra. Desta forma, há sempre um caminho entre quaisquer duas pessoas, e assim ninguém está a mais do alguns apertos de mão de alguém; vive-se em um mundo pequeno (BARABASI; CRANDALL, 2010). O resultado geral do estudo, que hoje é amplamente aceito, é que duas pessoas, escolhidas ao acaso podem estar conectadas por apenas uma cadeia curta de intermediários (NEWMAN, 2000).

A partir da teoria de grafos aleatórios, sabe-se que as distâncias em uma rede construída de forma aleatória, com o mesmo número de nós, são relativamente pequenas. Porém acredita-se que uma rede social não se dá totalmente ao acaso, já que geralmente os agentes se relacionam entre seus comuns. Este fato leva a definição por parte de Watts e Strogatz (1998) de que para caracterizar redes de mundo-pequeno na forma de grafos, o coeficiente de agrupamento deve ser muito maior do que em redes aleatórias, e com um comprimento médio que aumenta algorítmicamente com o número de vértices.

O procedimento de Watts e Strogatz (1998) partiu de ideia de interpolar redes regulares e redes aleatórias, como na Figura 7. A sua ideia central consiste em começar com uma rede muito estruturada, com elevada aglomeração, mas também uma maior distância entre os nós, e adicionar a esta rede arestas ao acaso, a fim de reduzir o diâmetro. Os autores mostram que a adição de arestas aleatórias, o aumento da conexão, para uma rede estruturada, conduz primeiro a uma redução das distâncias na rede e, em seguida, a uma redução do agrupamento (COMELLAS; SAMPELS, 2002). Na região resultante entre as redes, têm-se as redes de pequeno mundo:

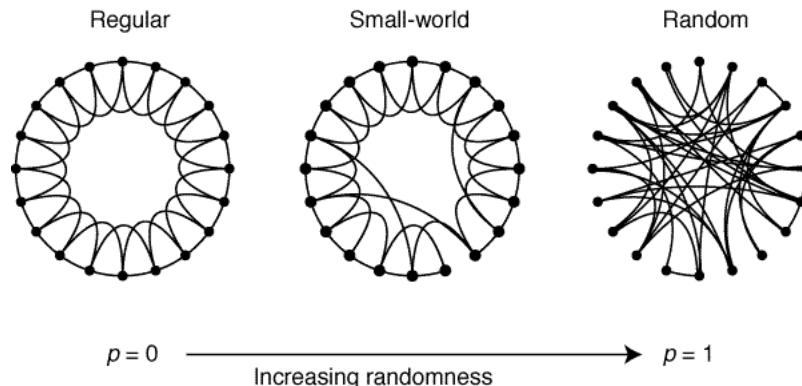


Figura 7 – Processo de religação aleatória para interpolação entre uma rede regular e uma rede aleatória

Fonte: WATTS; STROGATZ, 1998, p. 441

Nota: p é a probabilidade aleatória de ligação dos nós (conexão entre os agentes). Em uma rede regular, $p = 0$; já em uma rede aleatória, $p = 1$. A rede de mundo-pequeno apresenta uma probabilidade de ligação intermediária. Neste exemplo, o número de vértices é de 20 ($n = 20$), com centralidade de grau de 4 ($k = 4$); existem $nk/2$ arestas no grafo completo, então o processo de religação para após $k/2$ voltas.

Watts e Strogatz (1998) escolheram um vértice e a aresta que o conecta ao seu vizinho no sentido dos ponteiros do relógio. Com a probabilidade p , foram conectadas arestas uniformemente, ao acaso, em todo o anel, sendo vetadas as arestas duplicadas. Este processo se repetiu, no sentido horário do anel, considerando um vértice por vez, até completar a volta. Em seguida, os autores consideraram as arestas que conectam os vértices para os seus segundos vizinhos, os mais próximos no sentido horário. Assim como antes, foram conectadas arestas com probabilidade p , e continua-se o processo, circulando todo o anel e seguindo o procedimento para os vizinhos mais distantes após cada volta, até que cada extremidade da estrutura original for considerada uma vez.

Watts e Strogatz (1998) estudaram a transição entre os dois limites, redes regulares e aleatórias. Mostraram-se três processos, para diferentes valores de p : (i) para $p = 0$, o anel original está inalterado; (ii) com p aumentando, a rede torna-se cada vez mais desordenada; e (iii) para $p = 1$, todas as arestas estão ligadas aleatoriamente. Um dos principais resultados dos autores é que para valores intermediários de p , o grafo é uma rede de mundo-pequeno: altamente agrupados, tal qual uma rede regular, mas com pequeno comprimento médio da rede, característica de uma rede aleatória, como mostra a Figura 8:

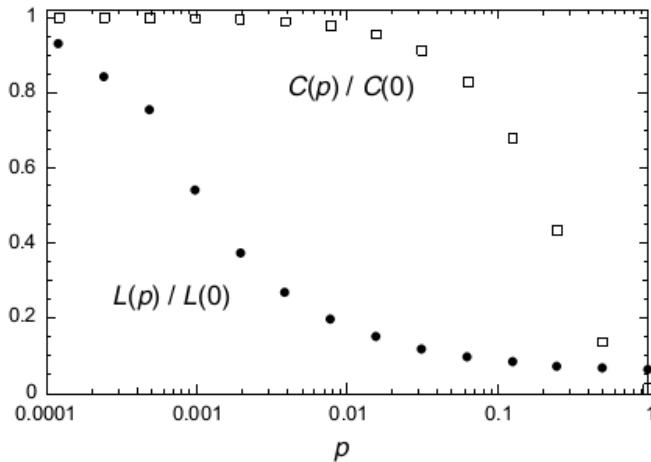


Figura 8 – Comprimento médio e coeficiente de aglomeração de redes de mundo-pequeno
Fonte: WATTS; STROGATZ, 1998, p. 441.

Nota: Os dados mostrados na figura são as médias mais de 20 realizações aleatórias do processo de religação descritas pela Figura 4, e foram normalizados pelos valores $L(0)$, $C(0)$ para uma rede regular. Todos os grafos têm 1000 vértices e um grau médio conexão de 10 arestas por vértice.

Mesmo para a pequena probabilidade de religação, quando as propriedades locais da rede estão muito próximas das da rede regular original e o coeficiente de agrupamento não difere essencialmente do seu valor inicial, o comprimento médio do caminho já é da magnitude de uma rede aleatória clássica. Nota-se uma escala horizontal logarítmica para resolver a queda rápida de $L(p)$, que corresponde ao início do fenômeno de mundo-pequeno. Durante essa queda, $C(p)$ permanece quase constante em seu valor para a rede regular, indicando que a transição para um mundo-pequeno é quase indetectável a nível local (WATTS; STROGATZ, 1998).

A introdução deste modelo para redes de mundo-pequeno renovou o interesse em redes complexas. Muitas publicações começaram a tratar das características intrínsecas deste modelo, como a distribuição de conectividade, robustez, tais quais Barabási e Albert (1999), Callaway et al. (2000) e Albert e Barabási (2000). Por mais que a motivação para o estudo de redes de mundo-pequeno tenha se dado a partir de redes sociais, este acaba por ter um efeito muito mais geral, sendo estendido para uma ampla variedade de redes reais, como biológicas e tecnológicas. Para Watts (1999), além de suas propriedades estruturais interessantes, os grafos de mundo-pequeno também são relevantes para a ciência social e natural através de seus efeitos sobre as características emergentes de sistemas dinâmicos. Mais especificamente, sistemas dinâmicos podem apresentar um comportamento radicalmente diferente em redes de pequeno mundo, um efeito pode ter implicações diversas.

2.3 Processos de difusão em redes sociais

2.3.1 Limiares de Redes Sociais

O objetivo final do estudo da estrutura das redes é entender e explicar o funcionamento dos sistemas construídos sobre essas redes. Procura-se entender, por exemplo, como a topologia *World Wide Web*⁸ afeta os motores de navegação de busca na internet, como a estrutura de uma teia alimentar afeta a dinâmica população, ou, como é o caso deste estudo, a estrutura setorial da economia brasileira afeta a difusão de choques. Após o estudo dos modelos de estrutura de rede é interessantes analisar o comportamento destas redes, ou seja, analisar como os processos físicos, biológicos ou sociais acontecem nestas redes (NEWMAN, 2003b).

Um dos principais processos que se dão em uma rede a ser estudado são os processos de percolação. A teoria da percolação estuda o surgimento de caminhos que permeiam a estrutura da rede: considerando-se uma rede em que as arestas são ocupadas por uma probabilidade p e não ocupadas com a probabilidade $1 - p$; para valores pequenos de p , apenas aglomerados finitos de arestas são ocupadas, mas, com uma probabilidade crítica p_c , o chamado “limiar de percolação”, se $p > p_c$, aparecerá um aglomerado infinito, ou seja, o componente gigante surge. O exemplo da propagação de um incêndio em uma floresta é usado por Barabási (2014) para ilustrar os conceitos básicos da teoria de percolação. Supondo que na Figura 9 cada ponto seja uma árvore e assim, a rede descreve uma floresta:

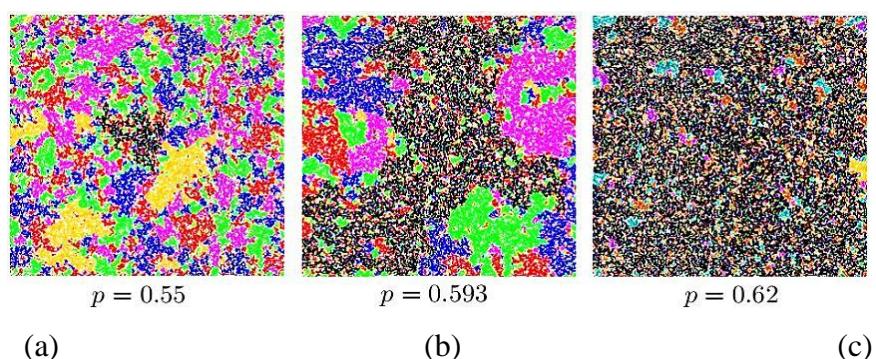


Figura 9 – Teoria da Percolação: incêndio florestal
Fonte: BARABÁSI, 2014, cap. 8, p. 15.

⁸ Também conhecida como “Web” ou “WWW”, com tradução livre para o português de “rede de alcance mundial”. É um sistema de documentos em hipermídia que são interligados e executados na Internet.

Se uma árvore pegar fogo, ela irá inflamar as árvores vizinhas, as quais, por sua vez, irão inflamar suas vizinhas e o fogo continuará a se espalhar até que nenhuma árvore tenha uma árvore vizinha não inflamada. A questão levantada por Barabási (2014) é, ao se escolher uma árvore aleatória, qual seria a fração da floresta que se esperaria queimar e quanto tempo demoraria. A resposta depende da densidade das árvores, controlada pelo parâmetro p . Para um p pequeno, a floresta consiste em pequenas ilhas de árvores, como em (a), em que cada ilha de árvore é representada por uma cor diferente; ao atear fogo em qualquer árvore, apenas o pequeno grupo que contém a árvore inflamada pegará fogo – pontos pretos na figura. Por consequência, o fogo cessará rapidamente. Para um p grande, a maioria das árvores pertence a um único grande *cluster* e, portanto, o fogo espalhar-se-ia rapidamente através de grande parte da densa floresta, como em (c). As simulações indicam que existe um parâmetro crítico, que se chamou de p_c , para o qual é preciso muito tempo para o fogo terminar. Este p_c é o limiar crítico da percolação, que neste trabalho será chamado de φ_c e é definido na seção 3.2.2. Nota-se que, quando p atinge p_c , como em (c), o componente gigante só surge através da união de pequenos *clusters*, fazendo com que o fogo tenha que seguir um longo labirinto para chegar a todos os grupos e todas as árvores, um processo que é demorado.

Assim, pode-se verificar pelo exemplo que o surgimento do componente gigante em uma rede modifica-se conforme a probabilidade de ocupação p . Em (a), em que $p < p_c$, o maior *cluster* é muito pequeno, e o fogo pode consumir, no máximo, apenas uma pequena fração das árvores e, portanto, queima rapidamente. Uma vez que p atinge p_c ($p_c \approx 0,593$), em (b), o maior *cluster* infiltra toda a rede e o fogo pode se espalhar através da floresta. Quando $p > p_c$, o maior cluster torna-se muito grande e fogo se extinguir rapidamente.

A descoberta da existência de uma probabilidade crítica em que se forma um componente gigante é uma das principais contribuições dos grafos aleatórios. No enteando, a teoria da percolação não se limita a reproduzir as previsões de redes aleatórias; esta perspectiva se estende a várias questões que envolvem redes reais e são cruciais para a compreensão de aspectos importantes da topologia de redes (ALBERT; BARABÁSI, 2002)⁹.

O modelo de percolação foi proposto pela primeira vez na década de 1950, na modelagem da propagação da doença, por Broadbent e Hammersley (1957) e Hammersley (1957). A disseminação de uma doença, ou seja, uma epidemia, está positivamente

⁹ Tecnicamente, não existe um “componente gigante” em uma rede finita. A definição de componente gigante é própria à grafos aleatórios, em que o componente é como um aglomerado tem a dimensão na proporção do tamanho da rede; assim, não faz sentido falar de tamanho de componente se o tamanho da rede é fixo. Na prática, normalmente considera-se um “grande componente”, que é uma proxy razoável de um componente gigante para redes de tamanho finito (NEWMAN, 2012).

relacionada com o tamanho da rede e com o quanto ela está conectada. Por analogia, a disseminação de informações apresenta o mesmo comportamento; a este fenômeno chamamos de cascata de informação. A agregação dos agentes para o entendimento do coletivo pode se interpretada em termos de contágio social, em que as informações são “transmitidas” de um agente para outro de forma que se pareça com a transmissão de uma doença.

Segundo Barash (2011) o contágio social é um subconjunto de contágio, que inclui todos os fenômenos sociais que podem se iniciar e se espalhar via redes sociais. A noção de como algo se torna popular é muito relevante para o conceito de contágio social. Informações, modismo e novas práticas podem se espalhar através de redes sociais como um incêndio, atingindo poucos agentes até que alcancem uma grande massa. O que era originalmente uma crença minoritária pode se tornar dominante à medida que mais agentes são expostos à crença dos indivíduos próximos e optam por adotá-la.

A maioria das teorias acaba assumindo, pelo menos implicitamente, uma relação simples entre os resultados coletivos e motivos individuais: se a maioria dos membros de um grupo apresentar o mesmo comportamento, pode-se inferir, a partir disso, que a maioria acabou compartilhando a mesma norma ou crença sobre a situação. Contudo, para Granovetter (1978), os resultados coletivos podem parecer paradoxais, isto é, intuitivamente inconsistentes com as intenções dos indivíduos que as geram. O Modelo de *Threshold* elaborado por Granovetter (1978) pode ser aplicado à processos usualmente chamados de “comportamento coletivo”, como o voto, a segregação residencial, difusão de inovações, nível educacional, greves, migração e mercados, bem como os processos mais típicos do comportamento público e dos movimentos sociais.

O conceito crucial para descrever as diferenças nas decisões individuais é o de “*threshold*”, o limiar. Granovetter (1978) define *threshold* como o número ou a proporção de indivíduos que devem tomar uma decisão antes de um determinado indivíduo fazê-lo – ponto onde os benefícios líquidos começam a exceder os custos líquidos de um indivíduo em particular. O *threshold* de uma empresa adotar uma nova tecnologia, por exemplo, é definido como a proporção de empresas que teriam que adquirir esta tecnologia antes dela adotar. Uma empresa “radical” apresenta um baixo *threshold* – os benefícios de adoção da tecnologia são elevados e os custos baixos. Uma empresa “conservadora” tem elevado *threshold* – benefícios da adoção da tecnologia são pequenos ou negativos quando confrontados com os custos.

O Modelo de *Threshold* deixa explícita a influência interpessoal do comportamento quando define que o agente escolhe adotar uma tecnologia quando percebe uma determinada taxa de adoção desta por outros agentes. Granovetter (1978) faz o mais simples pressuposto

possível: cada indivíduo na população presta atenção igualmente a todos os outros, o que em termos de rede corresponde a uma propagação “completa” ou “*all-to-all*”. Para Tutzauer, Knon e Elbirt (2011) a hipótese deste trabalho baseia-se no que acontece com a população como um todo, e seria mais realista supor que a influência interpessoal opera por meio daqueles que estão mais perto em um sentido social, físico ou estrutural.

Dodds e Watts (2005) verificaram ser extremamente frágil o modelo de Granovetter (1978) no que concerne à distribuição dos *thresholds*. Os autores exemplificam uma situação em que os agentes têm um *threshold* maior – a empresa necessita que mais empresas adotem a nova tecnologia para ela também adotar –, poder-se-ia ter um comportamento coletivo completamente diferente: quanto maior o *threshold* (que é individual), menor o tamanho da difusão (que é coletivo). Consequentemente pequenas mudanças nas preferências individuais podem levar a grandes e imprevisíveis mudanças de nível no sistema.

Watts (2002) adaptou o Modelo de *Threshold* a uma estrutura de rede na qual, em contraste com a suposição “*all-to-all*”, assume-se que os indivíduos são diretamente influenciados por apenas um pequeno subconjunto de vizinhos imediatos. O autor conclui que em redes aleatórias, a influência de “cascatas globais” só pode ter lugar dentro de uma determinada região, a chamada “janela em cascata”, enquanto que fora desta região, as cascatas são tipicamente pequenas. Porém, redes aleatórias são interessantes apenas em uma perspectiva analítica, já que estas são aproximações pobres de redes sociais reais, pela simples razão de que a aleatoriedade não capta a óbvia importância dos grupos (WATTS; DODDS, 2009).

Em uma sociedade, os agentes se reúnem em determinados contextos, tais como o local de trabalho, de estudo, religioso, base de produção, entre diversas outras conexões sociais. Pode-se esperar que não só as redes de relações de influência apresentarão inúmeras características da estrutura de *cluster*, como também estas propriedades terão consequências importantes para a transmissão de influência social através de uma rede. Os *clusters* sociais são de suma importância para a formação de redes de influência (WATTS; DODDS, 2009). Assim sendo, a influência social em uma rede de mundo-pequeno, ou seja, ponderada por *clusters*, é qualitativamente distinta da propagação “*all-to-all*” de Granovetter, na qual uma fração vulnerável diferente de zero é necessária para a ativação da propagação.

No caso de redes aleatórias, o maior grupo vulnerável à difusão pode ser interpretado como a massa crítica do sistema: quando um indivíduo neste grupo é ativado, o resto do grupo começa a segui-lo em curto espaço de tempo, ao passo que os não-vulneráveis também são ativados. Para Watts e Dodds (2009), claramente o conceito de grupos vulneráveis de uma

massa crítica de uma rede é insuficiente para compreender a dinâmica das cascadas na presença de *clusters*. Pelo contrário, parece que quando grupos são o meio de transmissão é importante que se pense uma massa crítica em termos de arranjo dos grupos mais vulneráveis versus os não vulneráveis.

Veja-se a Figura 10, que mostra a existência de grupos de agentes conectados (indicada pela presença de um número significativo de agentes com elevada centralidade de grau individual) e o fato da rede ser mais ou menos centralizada influenciando significativamente o ritmo de difusão:

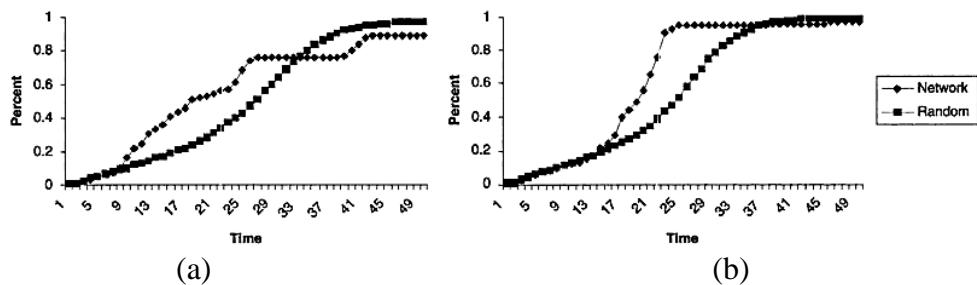


Figura 10 – Centralização de Redes: (a) rede com grupos organizados em torno de agentes com elevada centralidade de grau e rede com agentes homogêneos; (b) rede com elevada centralidade e network descentralizado

Fonte: VALENTE, 2005, p. 105.

A rede da Figura 10 (a) apresenta grupos de agentes conectados, o que explica que o processo de difusão às vezes ocorre mais rapidamente, como entre os períodos 25 e 29. Isso ocorre porque, nesses momentos, as inovações atingem um núcleo de percolação constituído por um grupo de agentes conectados. A existência desses núcleos, por outro lado, explica porque o processo de difusão é mais rápido do que no modelo de difusão tradicional (representado pela curva logística do modelo de difusão clássico). Já a rede da Figura 10 (b) é significativamente centralizada, contendo agentes extremamente influentes que atuam como formadores de opinião. Por isso, quando as novas ideias os alcançam, elas se difundem de forma extremamente rápida pelo sistema.

A Figura 11 generaliza o resultado apresentado na Figura 10, indicando que o ritmo de disseminação de uma epidemia ou uma informação depende, além da presença de indivíduos influentes altamente centralizados, também da densidade com que os indivíduos estão, em média, conectados uns aos outros, isto é da centralidade de grau média da rede ($\langle k \rangle$).

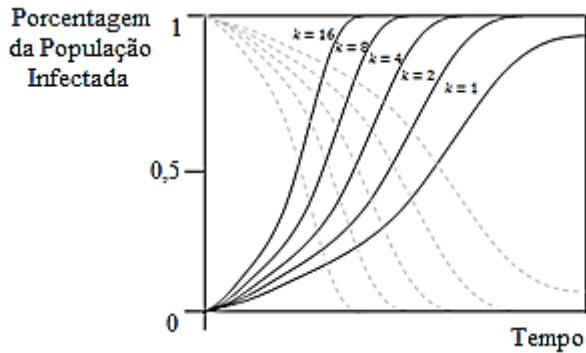


Figura 11 – Dinâmica de cascatas de informação em redes com diferentes centralidades de grau ($\langle k \rangle$)

Fonte: Elaboração própria, baseado em NEWMAN, 2012, p. 662.

Como epidemias podem ser usadas como uma metáfora para cascatas de informação, pode-se inferir que a rapidez com que uma epidemia comportamental se dissemina em uma rede social cresce com o grau de rede (onde as linhas pontilhadas representam a parcela de pessoas suscetíveis às novas informações a cada período t). A probabilidade de ocorrência de uma cascata de informação e sua dimensão dependem também da centralidade de grau média da rede. A explicação é que em redes muito esparsas, onde os agentes encontram-se pouco conectados, não existem *clusters* grandes o suficiente para formar uma massa crítica, ou um *cluster* de percolação, que propicie cascatas de adoção de novas tecnologias ou de mudanças comportamentais. Essas mudanças, quando chegam a ocorrer, limitam-se aos *clusters* isolados e de pequeno tamanho, onde elas eventualmente se iniciam. Neste caso, a adoção de inovações depende crucialmente dos agentes mais influentes na rede de relações sociais serem convencidos a adotá-las rapidamente (WATTS; DODDS, 2007).

Segundo Harrigan, Achananuparp e Lim (2012), cascatas de informação em redes sociais suficientemente densas, por outro lado, podem ser desencadeadas não por agentes especialmente influentes, mas por indivíduos comuns localizados próximos ou dentro de *clusters* de agentes conectados. Sistemas sociais desse tipo podem permanecer estáveis e resilientes a choques externos durante longo tempo, até que, inesperadamente, comportamentos alteram-se em forma de cascata em resposta a mudanças aparentemente pouco relevantes.

Em uma rede em que cada nó tem k_i conexões, e a influência de cada ligação é recíproca, cada nó terá um limiar de percolação fixado, φ_{c_i} . Utilizando o tempo discreto, tem-se a Figura 12, no tempo $t = 1$:

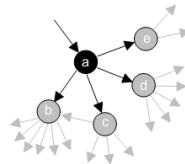


Figura 12 – Cascata de informação: $t = 1$

Fonte: DODDS, 2009, p. 123.

Nesta rede, o nó a foi ocupado, ou pode-se dizer que a informação chegou ao agente a . Note que, o agente a tem $k_a = 5$, o agente b , $k_b = 6$, o agente c , $k_c = 5$, o agente d , $k_d = 6$ e o agente e , $k_e = 3$. O agente recebe a informação, ou o nó torna-se ocupado, se a fração de contatos ativos for $k_i \geq \varphi_c k_j$, em que k_j é o número de ligações do agente vizinho. É fácil notar que, supondo que todos os agentes tenham o mesmo limiar de percolação de $\varphi_c = 0,2$, em $t = 2$, o agente a passará a informação para os agentes c e e . Os agentes a e c conseguem, assim, no tempo $t = 3$, passar a informação para o agente b , como na Figura 13:

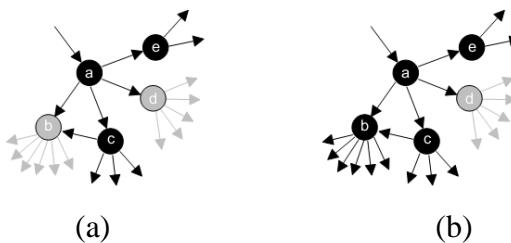


Figura 13 – Cascata de informação: (a) $t = 2$; (b) $t = 3$

Fonte: DODDS, 2009, p. 125.

O que condiciona a cascata de informação, assim, é a probabilidade de ativação que irá se espalhar através da rede, dado um agente inicial ativado. Essa probabilidade dependerá das características da rede, ou seja, a topologia da rede irá determinar se uma cascata de informação se dará ou não em um determinado sistema.

2.3.2 Homofílicos e Heterofílicos

A compreensão da natureza de como a comunicação flui através de redes interpessoais é reforçada pelos conceitos de homofilia e heterofilia, salientado por Rogers (2003). Homofilia é o grau em que um par de agentes que se comunicam é semelhante; ela ocorre

com frequência, pois a comunicação é mais eficaz quando a fonte e o receptor são parecidos. Já heterofilia é o grau em que os pares de agentes que interagem são diferentes em certos atributos; este tipo de comunicação ocorre raramente.

A ideia geral do comportamento homofílico foi posta pelo sociólogo francês Gabriel Tarde, em 1903, que notou que as relações sociais são muito mais estreitas entre os indivíduos que se assemelham em ocupação e educação. Sociólogos, tem se interessado pela homogeneidade dos grupos e pela a homofilia das relações diáticas, como Blau (1977) e McPherson e Smith-Lovin (1987). A estrutura social é conceituada como a distribuição de uma população entre as posições sociais em um espaço multidimensional de posições. A probabilidade de que as pessoas se envolvem em associações intergrupos em condições estruturais específicáveis pode ser deduzida a partir de proposições analíticas sobre as propriedades estruturais (BLAU, 1977).

O princípio da homofilia, em que a similaridade gera conexão, cria laços de rede de estrutura de todo tipo, como amizade, trabalho, casamento, transferência de informação, troca, entre outros tipos de relacionamentos. A homofilia limita o círculo social dos agentes de uma forma que tem fortes implicações para as informações que recebem, as atitudes que formam, e as interações que experimentam (MCPHERSON; SMITH-LOVIN; COOK, 2001).

Quando dois agentes compartilham de significados comuns – no caso de pessoas, se dividem as mesmas crenças, trabalho no mesmo ramo ou local, e moram próximas; e no caso de setores econômicos, se partilham da mesma base produtiva, ou estão ligados à jusante ou à montante, ou pertencem à mesma região geográfica – a comunicação entre eles é mais provável. Quanto os agentes de uma diáde se comunicam é mais provável que eles se tornem mais homofílicos; e quanto mais homofílicos os agentes são, mais é provável que sua comunicação seja eficaz. Agentes que procuram se comunicar com outros agentes diferentes, ou seja, com elevado grau de heterofilia, enfrentam dificuldades na transmissão informacional. Diferenças na competência técnica, na condição socioeconômica e na região leva, muitas vezes, a interpretações equivocadas, fazendo algumas mensagens passarem desapercebidas (ROGERS, 2003).

A comunicação entre os indivíduos heterofílicos podem causar dissonâncias cognitivas porque um indivíduo é exposto a mensagens que são incompatíveis com as crenças existentes, um estado psicológico desconfortável. Contudo, conexões de rede heterofílicas unem dois conjuntos de agentes distintos em um sistema. Esta união entre “diferentes” cria as chamadas “pontes”, ligações importantes para a transmissão de informações, como já posto por Granovetter (1973), com a teoria da “força dos laços fracos” (*strength of weak ties*).

Granovetter (1973; 1983) define um laço e a sua “força”, como uma combinação da quantidade de tempo, intensidade emocional e intimidade (confidênciária mútua) e os serviços recíprocos que caracterizam o laço. O autor sugere a existência de uma “tríade proibida”, em que se *A* e *B* estão ligados, e *A* e *C* estão ligados, *B* e *C* também estarão ligados; este é o caso nos que os laços entre dois indivíduos são fortes. Contudo, alguns laços podem atuar como uma “ponte”, abrangendo partes diferentes de uma rede social, conectando grupos que, de outro modo, seriam desconexos. Estes laços que atuam como “pontes”, segundo Granovetter (1973; 1983), não são “laços fortes”. O argumento é que, se um indivíduo está fortemente ligado a outro, aqueles ao entorno de seu laço também estarão ligados a eles, e assim os laços serão redundantes. O autor defende que para a difusão se dar através de uma rede, os “laços fracos” são mais valiosos. Para reforçar seu argumento, Granovetter (1973) utiliza a evidência empírica de uma pesquisa a candidatos a um emprego. Pediu-se para as pessoas que haviam encontrado um emprego através de algum contato, quantas vezes eles tinham visto a pessoa que os tinha ajudado com o trabalho. O resultado foi que 56% tinham visto seu contato apenas ocasionalmente e 28% raramente, indicando fortemente para a direção dos “laços fracos”¹⁰.

Desta forma, por mais que a comunicação homofílica seja mais frequente e fácil, a comunicação heterofílica pode mudar a dinâmica dos processos de difusão. A homofilia acelera os processos de difusão, mas limita a propagação para os agentes conectados a uma rede densa (ROGERS, 2003).

Em teoria da rede, os termos “assortatividade” e “disassortatividade” são usados ao invés de homofilia e heterofilia, e as respectivas redes são referidas como redes mistas assortativas e disassortativas. Em uma rede mista assortativa, os agentes altamente conectados se comunicam a outros que também são altamente conectados, formando um padrão centro-periferia. A rede mista disassortativa, por sua vez, apresenta agentes altamente conectados ligando-se a agentes pouco conectados. Podem-se aliar as definições de homofilia e heterofilia ao conceito de grau de correlação da rede, mais propriamente, rede homofílica ao conceito de sistema misto assortativo e rede heterofílica ao de sistema misto disassortativo (NEWMAN, 2012).

Assim, dependendo da característica das relações entre os agentes, ou seja, dependendo da topologia da rede, é viável deduzir que os processos de difusão assumirão comportamentos diferentes. Esse tipo de análise na literatura de rede deve-se a Bonacich (1987), e é a chamada medida de beta-centralidade. A relação entre os agentes na rede pode ser positiva, ou seja,

¹⁰ Para mais informações e exemplificações sobre a “força dos laços fracos”, ver Easley e Kleinberg (2010, p. 47-84).

agentes ganham poder quando estão conectados a outros bem conectados, ou negativa, na qual os agentes ganham poder quando conectados a outros de menor conexão. Os diferentes casos poderão ser modelados com valores positivos e negativos de beta, a depender do processo de difusão analisado.

A magnitude do parâmetro beta também pode ser variada, a fim de se estudar diferentes processos de difusão. A magnitude do beta deve refletir o grau em que a inovação é transmitida localmente ou para a estrutura da rede como um todo. Valores pequenos dão muito peso a estrutura local, enquanto que valores grandes levam mais em conta a posição dos agentes em toda a estrutura da rede. Bonacich (1987) exemplifica mostrando que, em uma rede de comunicação, um valor baixo e positivo de beta seria apropriado se a comunicação é mais local e não transmitida além da diáde. Valores maiores de beta seriam mais apropriados se a comunicação viajasse longas distâncias.

Em termos de difusão de inovação, como definido no início do trabalho, tem-se que: (i) um valor de β maior permite transmitir informação para toda a estrutura da rede, como a difusão de uma nova tecnologia; (ii) um valor de β menor, por levar em consideração relações mais locais, indica a capacidade de setores transmitir entre si, amplificando efeitos de choques de demanda e inflação.

2.3.3 Pesquisas de difusão em análise de redes: as pesquisas atuais

O processo pelo qual novas ideias e novos comportamentos espalham-se através de uma população tem sido uma questão fundamental nas ciências sociais. Um sistema social é uma espécie de sistema de aprendizagem coletiva em que as experiências de adotantes anteriores de uma inovação são transmitidas através de redes interpessoais, determinando, assim, a taxa de adoção de seus seguidores. Novas crenças religiosas ou movimentos políticos, a adoção de inovações tecnológicas, o sucesso repentino de um novo produto, a ascensão de uma celebridade ou candidato político, o surgimento de bolhas nos mercados financeiros e sua implosão posterior, são fenômenos que compartilham de algumas propriedades importantes. Estes fenômenos tendem a começar em pequena escala, com alguns adotantes iniciais, e mais e mais pessoas começam a adotá-los, como amigos, vizinhos ou colegas, e os novos comportamentos resultantes podem eventualmente se espalhar através da

população, de pessoa para pessoa, com a dinâmica de uma epidemia, fazendo com que o comportamento resulte em uma cascata através da rede (KLEINBERG, 2007).

Para Carlson e Doyle (1999) as cascatas de informação podem ser consideradas como manifestações específicas da natureza robusta e frágil de muitos sistemas complexos. As cascatas de informação podem variar amplamente entre os sistemas conforme a conectividade da rede. Para Dodds e Watts (2009), alterar a conectividade e a influência da topologia da rede, até mesmo de forma muito sutil, possivelmente trará implicações importantes para a escala de cascatas e também para a maneira pela qual estas cascatas podem ser iniciadas. A estrutura da rede e as suas consequências dinâmicas não são nada simples. Para Watts (2004) a interação entre a estrutura da rede e a dinâmica coletiva é uma área difícil de estudo, em que os esforços até agora têm feito apenas um progresso limitado. Watts e Dodds (2009) alertam que a melhor compreensão da estrutura e da dinâmica da rede de influência social pode ser de grande valor tanto para o setor público como para o privado, pelo fato destes afetarem e estarem envolvidos nas mudanças de opinião pública, crenças culturais ou normas sociais.

Acemoglu, Ozdaglar e Yildiz (2011) também trabalham com a hipótese de que a difusão de inovações é um processo social e o comportamento de adoção de um indivíduo está altamente correlacionado com o comportamento de seus contatos. Neste trabalho, os autores utilizam o conceito de limiar de difusão para analisar os efeitos da estrutura de rede, os valores limite sobre a dinâmica da difusão. Os autores consideram que a partir do efeito cascata, alguns pequenos choques podem alterar o curso da difusão significativamente, já que no modelo proposto o indivíduo considera ativamente adoção se a fração de seus vizinhos que adotaram está acima de certo limite. Este trabalho é relevante para a literatura, pois mede o efeito do agrupamento na inovação difusão. A literatura indicava¹¹ que o efeito de aglomeração em contágios complexos (indivíduos com elevados valores de limiar) diferia significativamente daquele em epidemias (caso em que os indivíduos têm valores baixos de limiar), em que contágios complexos podem se difundir ainda mais em redes com *clusters* altamente agrupados e apenas ligações de curto alcance, enquanto epidemias podem se difundir ainda mais em redes com ligações longas. Os resultados dos autores mostram que *clusters* altamente agrupados também são difíceis de penetrar a menos que exista um nó “infectado” dentro do *cluster*. Portanto, contágios complexos podem difundir ainda mais em redes com um menor grau de aglomeração e com ligações de longa duração, ao contrário da

¹¹ Como Centola, Eguíluz e Macy (2007) e Centola (2010).

intuição fornecida por estudos anteriores, fazendo com que o resultado seja válido para contágios complexos e epidemias.

Zeppini, Frenken e Izquierdo (2013) implementaram um modelo de difusão de um produto inovador no mercado. Os autores estudaram o efeito da estrutura de rede na eficiência de difusão no mercado, em que consideram duas medidas de eficiência de difusão: o tamanho de difusão e o tempo difusão (comprimento). Eles chegaram ao resultado que a conectividade de rede é o fator mais importante para o tamanho de difusão e que o agrupamento é ineficaz. Isto significa que as sociedades de maior dimensão são melhores mercados para a difusão.

Yildiz et al. (2011), ao estudar modelos de difusão de inovações em redes sociais, encontrou um cenário em que a inovação surge em um pequeno número de nós em uma sociedade, e que cada indivíduo precisa que uma determinada parcela de seus vizinhos adote a inovação para que ele o faça. Concluíram, corroborando a literatura, que o processo de difusão depende da topologia da rede e dos limiares de percolação. Montanari e Saberi (2010) também confirmam os resultados encontrados em outros trabalhos ao estudar quais as estruturas de rede que favorecem a rápida disseminação de novas ideias, comportamentos ou tecnologias. Os autores encontraram que: (i) as inovações se espalham rapidamente em redes altamente conectadas, (ii) as ligações de longo alcance são altamente benéficas e facilitam essa difusão, (iii) os nós de alto grau (altamente conectados) são o porta de entrada para a difusão bem-sucedida.

Adentrando o assunto mais específico que tange esta pesquisa, encontram-se os trabalhos de Newman (2002; 2003a), Hu e Wang (2009) e Piraveenan, Prokopenko e Zomaya (2010; 2012). Newman (2002) define uma rede mista assortativa como a rede em que os nós possuem muitas ligações que tendem a se conectar com nós que também tenham muitas ligações. Este autor propõe uma medida do grau de assortatividade e encontra uma variedade de redes sociais que tendem a apresentar o padrão assortativo, enquanto que redes tecnológicas e biológicas apresentam padrão disassortativo¹².

Newman (2002) chega a importante conclusão que as redes se infiltram mais facilmente se as relações forem assortativas e que elas também apresentam maior robustez para a remoção de ligações. Este resultado é intuitivamente razoável, já que em uma rede mista assortativa, os nós de alto grau tentam a ficar juntos, numa espécie de sub-rede ou grupo

¹² Mostram coeficiente positivo, ou seja, que assortatividade, as redes de: coautoria em física (0,363), coautoria em biologia (0,127), coautoria em matemática (0,120), parcerias de atores de cinema (0,208), diretores de empresas (0,276). Mostram coeficiente negativo, ou seja, padrão disassortativo, as redes de internet (-0,189); WWW (-0,065), interações de proteínas (-0,156), redes neurais (-0,163), cadeia alimentar marinha (-0,247), cadeia alimentar de água doce (-0,276) (NEWMAN, 2002).

central de grau mais elevado do que a média da rede como um todo. Desta forma, a percolação irá ocorrer mais cedo dentro de tal sub-rede. Por outro lado, a percolação estaria restrita a esta sub-rede, não sendo surpreendente que o componente gigante tenha um tamanho menor do que quando a rede é um mista disassortativa – ver Figura 14:

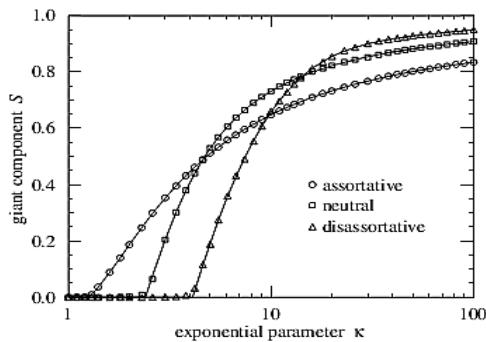


Figura 14 – Componente gigante o grau de assortatividade

Fonte: NEWMAN, 2002, p. 208701-3.

Estes resultados têm importantes implicações para os processos de difusão, como o exemplo de propagações de doenças dado por Newman (2002), que as relações introduzem assortatividade na maioria dos casos. O núcleo de uma rede mista assortativa poderia formar um “reservatório” para a doença, sustentando uma epidemia, mesmo nos casos em que a rede não é suficientemente densa, em média, para a doença persistir. Por outro lado, seria de esperar que a doença fosse limitada a um pequeno segmento da população. Para que a doença se espalhasse, tornando-se uma epidemia, a rede teria que ser neutra ou mista disassortativa.

Outro resultado de Newman (2002) é que nas redes mista assortativas a remoção de ligações é uma estratégia ineficiente para a destruição de conectividade da rede, já que estas ligações tendem a estar agrupadas, de modo que é redundante removê-las. Já em uma rede mista disassortativa, de tamanho similar, ataques ao componente gigante sobre os mais centrais são mais eficazes, sendo necessária a remoção de muitas poucas ligações para destruir a conectividade da rede¹³.

Hu e Wang (2009) discutem que, apesar da sabedoria convencional afirmar que redes sociais apresentam padrão de relações assortativas e redes tecnológicas e biológicas padrão de relações disassortativas, pesquisas recentes de redes sociais online modificam essa crença generalizada e mostram que muitas redes sociais online têm padrão disassortativo ou neutro.

¹³ A destruição da conectividade por ser dada via remoção de links, como também por meio de remoção de nós.

Barabási (2014) a fim de compreender verdadeiramente a prevalência de grau correlação, ou seja, dos padrões assortativos ou disassortativos, inspeciona as correlações que caracterizam várias redes reais, como as analisadas por Newman (2002). O autor faz isso utilizando gráficos e assim, chega à padrões de comportamento, tais como os apresentados na Figura 15:

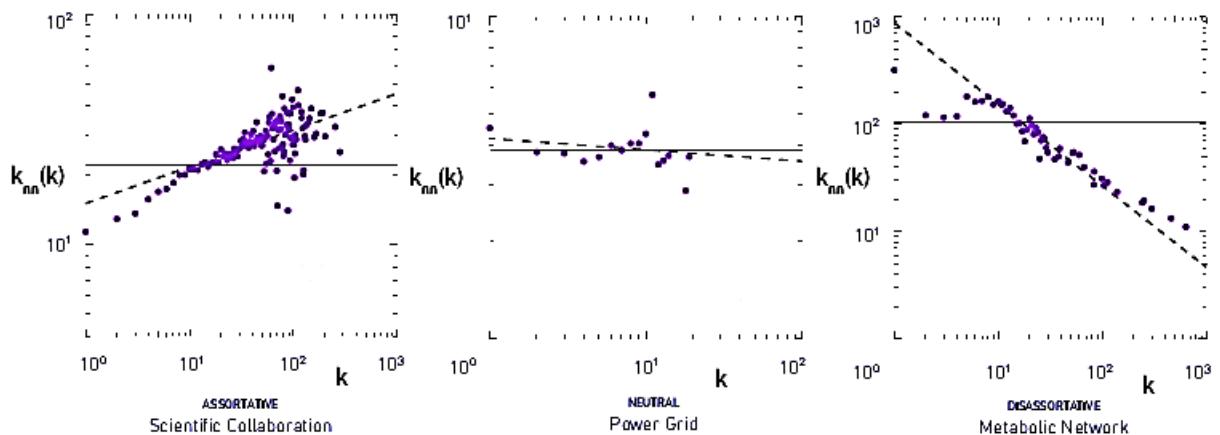


Figura 15 – Grau de correlação das redes: (a) colaboração científica: assortativo; (b) rede de energia: neutro; (c) rede metabólica: disassortativo

Fonte: BARABÁSI, 2014, cap. 7, p. 10

Nota: a linha tracejada corresponde à equação de previsão. Em que a inclinação é: (a) 0,37, (b) 0,04, (c) -0,76.

Para quantificar os graus de correlações dos nós, Barabási (2014) inspeciona a dependência de $k_{nn}(k)$, proxy do grau de correlação, que é o grau médio de vizinhos de um nó, com k , grau de conexões de cada nó¹⁴. Em (a) tem-se a rede de colaboração de astrofísicos, em que há aumento de $k_{nn}(k)$ com aumento de k , indicando que a rede é mista assortativa. Em (b) tem-se uma rede elétrica, em que a relação horizontal entre $k_{nn}(k)$ e k , indica ausência de correlação, como previsto para redes neutras. Em (c), caso da rede metabólica, $k_{nn}(k)$ decresce com o aumento de k , documentando a natureza disassortativa das relações presentes na rede.

Em outra linha de pesquisa dentro da teoria de redes, Ghosh e Lerman (2011) aplicam o conceito de centralidade como poder de Bonacich (1987), a beta-centralidade, para analisar

¹⁴ Em que $k_{nn}(k) = \sum_{k'} k' P(k'|k) = \frac{\sum_{k'} k' e_{kk'}}{\sum_{k'} e_{kk'}}$, em que $\sum_{k'} e_{kk'}$ é a probabilidade de encontrar um nó com o grau de k e k' para as duas extremidades de uma aresta selecionada aleatoriamente, dada por $\sum_{k'} e_{kk'} = q_k$, e q_k é a probabilidade de ter um grau de nó k na extremidade de uma ligação, definido por $q_k = \frac{k p_k}{\langle k \rangle}$, em que p_k é a probabilidade de ligação do nó de grau k ; $P(k'|k)$ é a probabilidade condicional que, após uma ligação de um nó de grau k chega-se a um nó de grau k' . Pode-se reescrever a primeira equação, considerando as definições de forma que, $k_{nn}(k) = \frac{\sum_{k'} k' q_k p_{k'}}{q_k} = \sum_{k'} k' q_{k'} = \sum_{k'} k' \frac{k' p_{k'}}{\langle k \rangle} = \frac{\langle k^2 \rangle}{\langle k \rangle}$.

a influência dos nós em nível local e global, em comparação com outras centralidades, como centralidade de conectividade e a medida de Page Rank¹⁵. Os autores aplicam a centralidade normalizada, que eles chama de alfa-centralidade, para redes estudadas na literatura e uma rede extraída do site de compartilhamento de fotos Flickr. Em primeiro lugar, e o que interessa a esta pesquisa, Ghosh e Lerman (2011) estudam a rede de amizade do Clube de Karate do estudo de Zachary (1977), apresentada na Figura 16, em que cada nó representa um membro do Clube, em que os círculos e quadrados apresentam as duas facções iniciais, enquanto as cores representam as comunidades descobertas conforme a força de laços (α) aumenta:

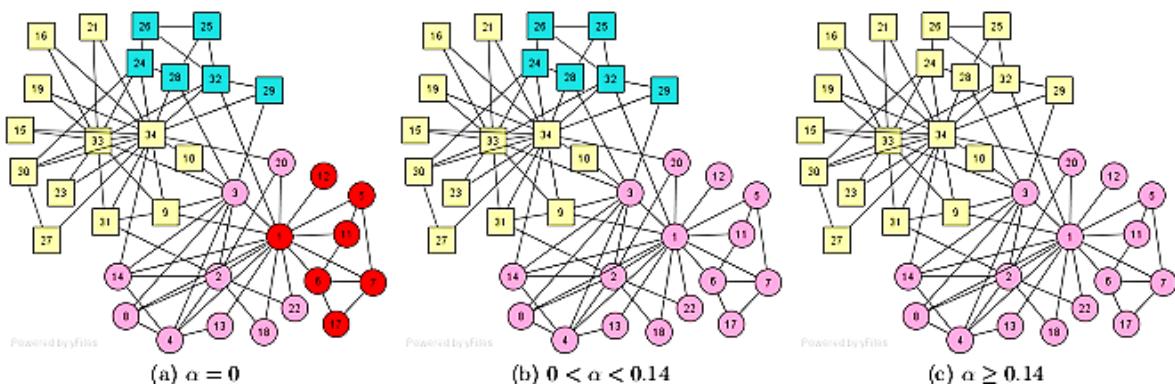


Figura 16 – Rede do Clube de Karate de Zachary

Fonte: GHOSH; LERMAN, 2011, p. 066118-5

Durante o curso do estudo, um desentendimento se desenvolveu entre o administrador e instrutor do Clube, o que resultou na divisão do clube em duas facções, representadas por círculos e quadrados. A primeira bissecção da rede resulta em duas comunidades, independentemente do valor de α . No entanto, quando o algoritmo é executado, grupos diferentes aparecem. O resultado pode ser mais bem entendido na Figura 17:

¹⁵ Dá a probabilidade de um passeio aleatório iniciado no nó i vai chegar ao nó j ; ver Page et al. (1998).

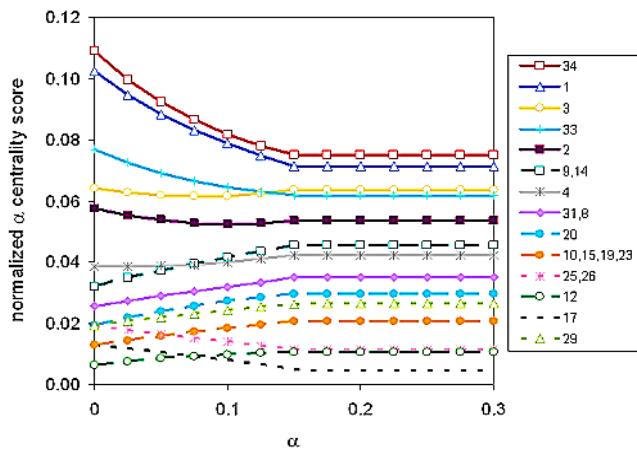


Figura 17 – Centralidade dos membros do Clube de Karate de Zachary versus α
Fonte: GHOSH; LERMAN, 2011, p. 066118-5.

Os autores destacam que quando α aumenta, a centralidade dos membros 1, 2, 33 e 34 diminui, o que indica que estes membros são mais importantes a nível local. Já a centralidade dos membros, 3, 8, 9, 10, 14, 20 e 31 aumenta com o aumento de α , o que mostra que os caminhos mais longos são mais significativos para estes membros, evidenciando sua importância global na rede. Os membros 17, 26 e 26, com baixa centralidade e com esta diminuindo com o aumento de α indica que estes membros são periféricos na rede. Esta análise é interessantíssima para a questão dos processos de difusão, e será utilizada neste trabalho e explicada na metodologia a seguir.

2.3.4 Pesquisas de difusão em análise de redes: ênfase em economia

Acemoglu, Ozdaglar e Tahbaz-Salehi (2010) analisam a relação entre a estrutura da rede de uma economia e de sua volatilidade agregada. Os autores partem da hipótese de que as interconexões entre empresas ou setores ligados através de redes de abastecimento (ligações de insumo-produto) podem criar cascatas, como choques em algumas empresas ou setores que se espalham para o resto da economia. Definem a volatilidade agregada como o desvio padrão do logaritmo do PIB *per capita* da economia e estudam a relação entre volatilidade específica do setor e a volatilidade agregada em função das propriedades estruturais da rede de abastecimento.

Os autores concluíram que a presença de setores altamente interligados pode criar efeitos em cascata em que choques negativos nesses setores são transmitidos para uma fração suficientemente grande de outros setores da economia. Isso pode acontecer primeiro, porque alguns setores são fornecedores para muitos outros setores, isto é, por causa de interconexões de primeira ordem, medida pela centralidade de grau; segundo e mais interessante, devido à ordem superior de interconexões, de segunda ordem (beta-centralidade), ou seja, a possibilidade de que os setores de alta centralidade de grau ter fontes de fornecimento comuns, uma noção mais intimamente relacionada com os efeitos em cascata.

Se a rede de abastecimento exibir essas interconexões de ordem superior, a baixa produtividade em um setor pode criar efeitos em cascata por toda a economia, um alto grau de setores a jusante irão sofrer e, por sua vez, irão afetar um grande número de outros setores a jusante. Isto é importante para a volatilidade agregada porque quando os fornecedores são atingidos por choques negativos, há uma cascata na rede de sua alimentação que se traduz em baixos insumos para seus setores a jusante, que são eles próprios importantes fornecedores de muitos outros setores a jusante. A presença de interconexões de alta ordem pode ser identificada pelo o que se chama na literatura de beta-centralidade ou centralidade de Bonacich, em homenagem ao formulador desta medida.

Carvalho (2010) e Gabaix (2011) também adotam a perspectiva de redes de interação setorial para analisar o fluxo de insumos intermediários em todos os setores da economia. Carvalho (2010) aplica essa metodologia para mostrar como flutuações na atividade econômica global podem surgir a partir de choques independentes em cada setor. O autor identificou que os setores são interligados por sua dependência conjunta sobre um número limitado de tecnologias de interesse geral e diferem apenas nos insumos restantes que cada um usa para produzir o seu bem. Do ponto de vista da rede, isso significa que a estrutura de articulação da economia é dominada por poucos fornecedores de insumos para diversos setores. Neste caso, as flutuações de produtividade nestes setores propagam pela economia e afetam o agregado, como no trabalho de Acemoglu, Ozdaglar e Tahbaz-Salehi (2010).

Gabix (2011) mostra que choques idiossincráticos ao nível da empresa podem explicar parte importante dos movimentos agregados e proporcionar uma microfundamentação para estes choques. Este autor concluiu que choques idiossincráticos nas 100 maiores empresas dos EUA explicam uma grande fração (cerca de um terço) da volatilidade agregada, fazendo com que alterações em políticas monetária, fiscal e política cambial, e choques de produtividade agregada, apesar de importantes propulsores da atividade macroeconômica, não são os únicos contribuintes para as flutuações do PIB norte americano.

Acemoglu et al. (2012) também trabalha com a hipótese de que na presença de ligações de insumo-produto, choque idiossincráticos microeconômicos podem levar a flutuações agregadas. Os principais resultados evidenciam a importância de diferentes setores como fornecedores aos clientes imediatos, bem como seu papel como fornecedores indiretos para cadeias de setores a jusante. Estas interconexões de ordem superior (beta-centralidade) capturam a possibilidade de “efeitos em cascata”, em que os choques de produtividade de um setor se propagar não só para os seus clientes a jusante imediatos, mas também para o resto da economia, como na pesquisa de Acemoglu, Ozdaglar e Tahbaz-Salehi (2010). Os resultados também destacam que uma considerável volatilidade agregada é obtida a partir de choques idiossincráticos setoriais, somente se existir assimetria significativa nos papéis que desempenham setores como fornecedores para os outros, e que a “escassez” da matriz de insumo-produto não está relacionada com a natureza das flutuações agregadas. Estes autores também utilizam a medida de beta-centralidade para inferir os setores com mais clientes diretos ou indiretos a jusante; estes apresentam efeitos agregados mais significativos.

Aobdia, Caskey e Ozel (2013) concentram seu trabalho sobre os efeitos das posições das indústrias no fluxo da economia e analisam a forma como o comércio interindustrial afeta a transmissão de choques econômicos, assim como a transmissão de informações sobre esses choques. A evidência que os autores encontraram sugere que as transferências de choques econômicos e de informações dependem não só dos parceiros comerciais imediatos, mas também da posição das indústrias na economia. Foi identificado que os choques para as indústrias centrais se propagam mais fortemente do que os choques para indústrias não centrais. Os autores mediram a posição de uma indústria na economia usando a centralidade-beta, em que uma indústria com alta centralidade significa ela possui fortes ligações comerciais com indústrias que têm alta centralidade também.

Para Acemoglu et al. (2012), um choque originário de um setor central têm uma maior tendência a resultar em um choque macroeconômico por causa da variação no comércio que passa a sofrer a indústria central. Para Aobdia, Caskey e Ozel (2013) o choque para os parceiros comerciais do setor central deve ser macroeconômico para que possa afetar esta indústria central. Se a indústria é central em virtude de ter muitos parceiros comerciais, então o choque deve afetar muitos desses parceiros comerciais a fim de impactar a indústria central. Se a indústria é central em virtude de negociação com as indústrias que são elas próprias centrais, então, conforme Acemoglu et al. (2012), os choques para esses parceiros comerciais tendem a ser macroeconômicos. Aobdia, Caskey e Ozel (2013) ressaltam que empiricamente

não se pode determinar a origem dos choques, mas a natureza da centralidade implica que os choques experimentados pelas indústrias centrais tendem a ser macroeconômicos.

Acemoglu, Ozdaglar e Tahbaz-Salehi (2013), baseando-se em Acemoglu et al. (2012), mostram como grandes crises econômicas podem resultar da propagação de choques microeconômicos sobre as ligações de insumo-produto de diferentes empresas ou setores da economia. A estrutura de insumo-produto da economia pode fundamentalmente remodelar a distribuição da produção agregada, aumentando a probabilidade de grandes crises. Os autores mostram que na presença de ligações de insumo-produto, a volatilidade global não é uma estatística suficiente para a probabilidade de grandes crises. Em vez disso, dependendo da forma da distribuição dos choques idiossincráticos, diferentes características de rede de insumo-produto da economia podem ser de grande importância. Os resultados estabelecem que os efeitos da estrutura de insumo-produto da economia e da natureza dos choques ao nível da empresa idiossincráticos sobre o produto agregado não são separáveis, no sentido de que a probabilidade de grandes crises econômicas é determinada pela interação entre os dois.

No âmbito da pesquisa nacional, Martins (2009) estuda a interdependência dos setores produtivos brasileiros. Para isto, o autor aplica a teoria de redes sociais à matriz insumo-produto do ano de 2002 para identificar os setores produtivos que contribuem da maneira mais acentuada para o desenvolvimento econômico, ou seja, os setores-chave da economia brasileira. Para isto o autor utiliza os encadeamentos de primeira ordem, como definido por Acemoglu et al. (2012), negligenciando os de ordem superior (beta-centralidade), o que será realizado neste trabalho.

2.4 Considerações finais

Neste capítulo realizou-se uma revisão da teoria de difusão, em que, apesar das muitas disciplinas de estudo, apresenta conclusões gerais, como a importância dos líderes de opinião e a distribuição da adoção da inovação em forma de S . A teoria da difusão neste trabalho é complementada pela teoria de redes, em que consideramos que uma inovação é transmitida através da rede social.

Chega-se assim no estudo dos processos de difusão com base na teoria de redes que o efeito cascata – pequenos choques alterando o curso da difusão significativamente – é parte fundamental da análise. A partir da revisão de bibliografia sabe-se que um choque se espalha

rapidamente em redes bem conectadas e que agentes bem conectados são a porta de entrada para difusões, ou seja, são setores-chave para o processo. Contudo, para a questão da cascata de informação, são as ligações de ordem superior, que se chamou de beta-centralidade, que são mais significativas.

A próxima seção mostrará a metodologia empregada para o estudo da estrutura da economia brasileira e como esta influencia os processos de difusão, considerando a análise topológica da rede e depois a questão das ligações de ordem superior.

3 METODOLOGIA

3.1 Procedimentos metodológicos

A fim de se analisar os diferentes processos de difusão que se dão na economia brasileira, a saber, propagação de choques de demanda sobre os setores domésticos, espalhamento da inflação e difusão de tecnologias, tomando por base as relações intersetoriais, faz-se necessário seguir alguns passos metodológico, para facilitar a análise. Estes procedimentos metodológicos são sumariados na Figura 18:

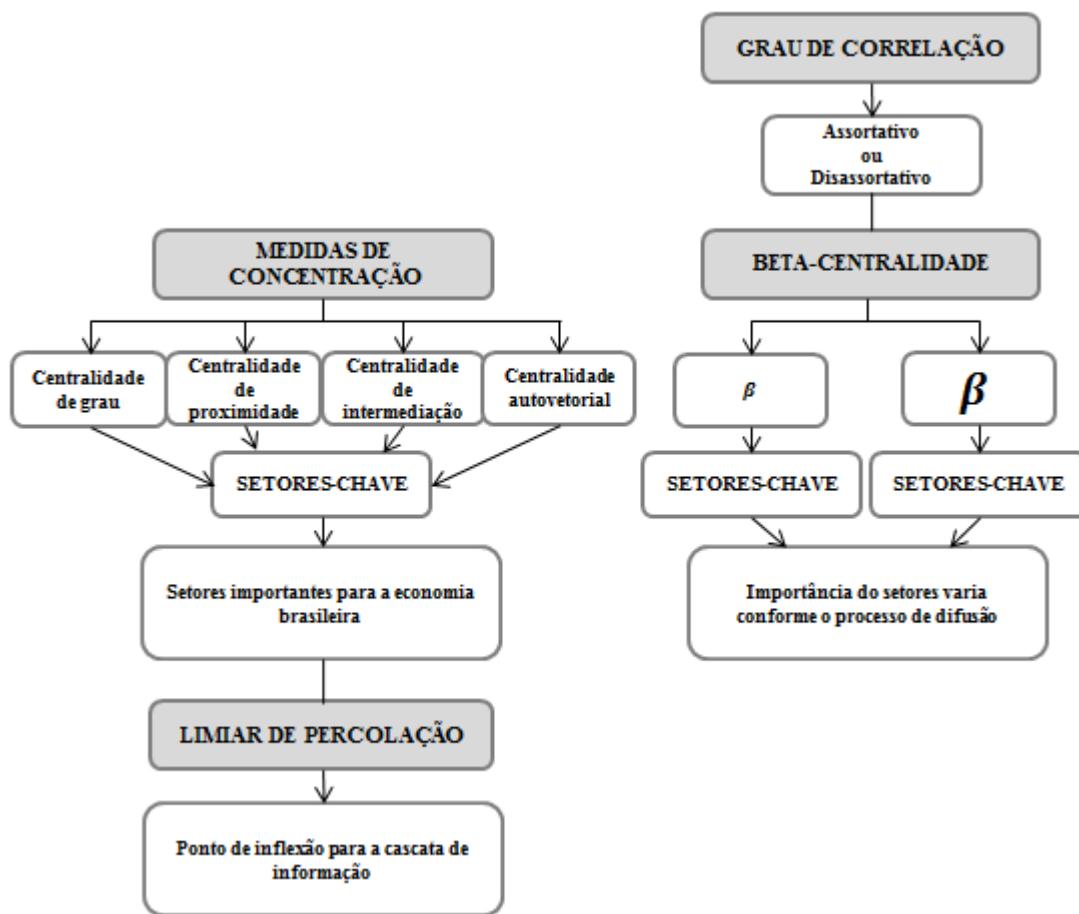


Figura 18 – Procedimento metodológico
Fonte: Elaboração própria.

Faz-se necessário, após construir a rede de relações intersetoriais, analisar a sua topologia – lado esquerdo da figura. Para isto, faz-se um estudo das medidas de concentração

da rede, buscando identificar os setores-chave da economia brasileira de forma geral. Após esta caracterização, calculam-se os limiares de percolação das redes de interação, como forma de identificar os processos de difusão da economia brasileira. Na segunda etapa, esta mais específica, objetiva-se analisar os diferentes padrões de difusão que ocorrem na economia – lado direito da figura. Neste caso, conforme o processo de difusão, busca-se identificar os setores-chave para cada caso.

3.2 Noções Básicas de Análise Redes

Para iniciar a análise sobre a estrutura de rede, recorre-se à terminologia que emerge da teoria dos grafos, considerando que há pequenas variações dependendo da área em que está sendo estudada¹⁶. Uma rede é representada como um grafo de um *conjunto de nós* N , com um número finito de membros n . Podem-se chamar os nós de vértices e agentes. Uma rede é um par (N, g) , no qual g é uma matriz de adjacência $n \times n$ em um conjunto de nós, e g_{ij} indica a relação entre os nós i e j . Neste trabalho, foca-se a discussão no caso em que $g_{ij} \in \{0,1\}$ de tal forma que, ou a relação é presente ($g_{ij} = 1$) ou ausente ($g_{ij} = 0$). Tem-se g como uma matriz ou um conjunto de ligações. A relação entre os nós i e j , representado por nós $ij \in g$, é referida com um *link*. Referem-se a links também como bordas ou ligações.

O *vizinho* de um nó i em uma rede (N, g) é denotado por $N_i(g) = \{j | ij \in g\}$. O grau de um nó i em uma rede (N, g) é o número de vizinhos que i tem em uma rede. O *coeficiente de agrupamento* $C(g)$, que mede a exclusividade de um grupo, uma propriedade local, é a fração média de pares de vizinhos de um nó, que também são vizinhos um do outro.

Um *passeio* em uma rede (N, g) , refere-se a uma sequência de nós, $i_1, i_2, i_3, \dots, i_{K-1}, i_K$, tal que $i_k i_{k+1} \in g$ para cada k de 1 a K . O *comprimento* do passeio é o número de links, ou $K - 1$. Um *caminho* em uma rede (N, g) é um passeio em (N, g) , $i_1, i_2, i_3, \dots, i_{K-1}, i_K$, de tal modo que todos os nós são distintos. Diz-se que a rede é *conectada* se existir um caminho em (N, g) entre cada par de nós i e j . A *distância* d_{ij} entre dois nós é o comprimento do caminho mais curto entre eles, ou seja, mede a separação típica entre dois nós. Esta é a chamada distância geodésica. O *diâmetro* D é definido como a distância máxima entre todas as distâncias. O *comprimento médio do caminho* $L(g)$, uma propriedade global, é

¹⁶ Definições com base em Jackson (2008), Jackson e Rogers (2005) e Wang; Chen (2003).

definido como a distância média entre dois nós, definindo assim a separação mais típica entre um par de nós.

3.2.1 Medidas de Concentração

O primeiro passo para caracterizar uma rede é construir sua matriz de adjacência, estabelecendo como os setores da economia se relacionam entre si. Com base na matriz de coeficientes técnicos, tem-se um coeficiente que informa a produção total de um setor que é necessária para produzir uma unidade de demanda final do setor de outro setor, ou seja, de quanto um setor influencia o outro. A partir de um coeficiente limite definido, diz-se que o valor atribuído à célula da matriz de adjacência será um, se acima do valor limite, ou zero, em caso contrário. A partir da matriz de adjacência, podem-se computar diversas características fundamentais para os processos de difusão ou comportamentos em cada sistema e para diferentes redes sociais.

Há diversas formas de computar a centralidade, as quais são mais informativas dependendo da aplicação que se tem em mente. Em princípio, analisar-se-á quatro medidas para caracterizar as redes:

(i) Centralidade de grau (*degree*): esta medida de centralidade avalia o número de agentes com os quais cada agente interage ($\sum_{i,j=1}^n g_{ij}$). Indica o número de links que o nó i tem com os demais. A partir desta medida de grau, podemos inferir o grau médio da rede, que é dado por:

$$\langle k \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_i \quad (3)$$

(ii) Centralidade de intermediação (*betweenness*): baseia-se na frequência com que um agente situa-se entre pares de outros agentes tomando por referência o caminho geodésico entre eles. Esta medida de centralidade refere-se à posição do indivíduo na rede e é dada por:

$$C_{b_k} = \frac{\sum d_{ikj}}{\sum d_{ij}}, \quad i \neq j \neq k \quad (4)$$

em que, d_{ikj} é o número de *links* do caminho geodésicos dos indivíduos i e j que passam através do nó k , e d_{ij} o número de *links* do caminho geodésico dos indivíduos i e j .

(iii) Centralidade de proximidade (*closeness*): baseia-se na medida em que um determinado agente encontra-se próximo a todos os outros agentes. Mede a importância dos atores mais influentes em termos dos menos importantes, sinalizando a existência de atores altamente conectados no sistema. O grau de proximidade é dado por:

$$C_{ci} = \sum_{j=1}^n \frac{1}{d_{ij}} \quad (5)$$

no qual d_{ij} é a distância entre o nó i e o nó j .

(iv) Centralidade autovetorial (*eigenvector centrality*): é uma medida da conexão de um agente a outros com elevada centralidade de grau. Indica a rapidez com que a informação flui no sistema. Este grau é dado por:

$$C_{ei} = i - \text{ésima entrada do autovetor unitário } \varepsilon \quad (6)$$

em que ε é autovetor associado ao maior autovalor da matriz adjacente. O valor de ε é um vetor unitário $g\varepsilon = \lambda\varepsilon$, na qual o valor de ε é tal que o quadrado das suas entradas somam à unidade, g representa o valor com entradas positivas e λ representa autovalor da matriz. Neste contexto, ε é um valor positivo.

A centralidade de grau indica os agentes-chave para a disseminação de informações nas redes. Isto é, sinaliza a existência de agentes altamente conectados no sistema em estudo, o que também tem óbvias implicações de política. Por exemplo, diversos estudos têm confirmado a hipótese de Freeman (1978/1979) de que redes mais centralizadas são mais eficientes em transmitir informações, no sentido de que em redes em que existam agentes especialmente influentes a informação tende a fluir mais rapidamente. Há também diversas formas de computar essa característica, mas todas elas indicam que índices mais altos de centralização estão associados à presença de alguns indivíduos extremamente influentes na rede, enquanto que índices mais baixos sinalizam uma maior homogeneidade entre os agentes.

O indicador de *betweenness* é computado para identificar agentes com maior poder de controle sobre a informação e eventuais lacunas estruturais no sistema (BURT, 1992). Agentes com elevado grau de *betweenness* são capazes, por exemplo, de reter ou distorcer informações vitais para os demais agentes. Uma lacuna estrutural (*structural hole*) ocorre quando dois subgrupos de uma rede não interagem devido a inexistência de agentes com

elevado grau de *betweeness* e que, por isso, poderiam potencialmente atuar como conectores entre esses grupos¹⁷. Já a centralidade de proximidade e a centralidade autovetorial são indicadores importantes para estimar o grau de eficiência, por exemplo, a rapidez, com que a informação flui no sistema.

3.2.2 Limiar de percolação

A distância geodésica é geralmente a distância considerada na teoria de percolação. Diferentes redes sociais apresentam diferentes padrões de difusão, isto é, diferentes limiares de percolação. Desta forma, a questão da percolação é equivalente a verificar se existe um caminho em que a informação pode fluir na rede. Se existe este caminho, então podemos dizer que existe um componente gigante nesta rede.

Redes complexas tipicamente apresentam o que se chama de *componente gigante*, que vem a ser um termo informal para um componente com uma fração significativa de links com todos os nós (EASLEY; KLEINBERG, 2010). A presença de um componente gigante significa que a fração macroscópica da rede está ligada, desempenhando um papel central em problemas de difusão, já que ao se saber o tamanho deste componente tem-se a noção de quantos nós podem ser atingidos a partir de um único (JACKSON, 2008). Limiar de percolação é o momento em que este componente gigante emerge, ou seja, diz-se que a rede percola quando se forma um componente gigante.

Se a rede aumenta seu grau médio, aumenta também a possibilidade do componente gigante aparecer, e assim aumentar a centralização, permitindo a difusão de novas práticas. Desta forma, para determinar o componente gigante, e assim o limiar de percolação, faz-se necessário saber a centralidade de grau, dada pelo grau médio da rede. Diz-se que uma rede é centralizada se alguns nós apresentam mais links que outros. Desta forma, uma maior centralidade de grau faz com que haja uma maior variância quando comparada ao grau médio, e assim uma rede centralizada tona-se mais propícia à difusão.

¹⁷ Para um estudo aplicando este indicador, ver Stevenson e Greenberg (2000).

O limiar de percolação, que depende de dois momentos de distribuição de grau da rede¹⁸, é dado por Newman (2012, p.600):

$$\varphi_c = \frac{\langle k \rangle}{\langle k^2 \rangle - \langle k \rangle} \quad (7)$$

Esta equação nos diz o número mínimo de nós que devem estar presentes na configuração da rede para um componente gigante existir. A propagação de uma nova prática entre os indivíduos se espalhará se houver um componente gigante. Para que a nova prática se espalhe, é preciso ultrapassar o limiar de percolação, aumentando as relações entre os indivíduos – *links* entre os nós.

Pode-se inferir que a probabilidade de ocorrência de uma cascata de informação e a sua dimensão dependem, então, do grau médio da rede. A explicação é que em redes muito esparsas, na quais os agentes encontram-se pouco conectados, não existem *clusters* grandes o suficiente para formar uma massa crítica, ou um *cluster* de percolação, que propicie cascatas de informação. Essas mudanças, quando chegam a ocorrer, limitam-se aos *clusters* isolados e de pequeno tamanho, onde elas eventualmente se iniciam. Nesses casos, a adoção de inovações depende crucialmente dos agentes mais influentes na rede de relações sociais serem convencidos a adotá-las rapidamente (WATTS E DODDS, 2007). Cascatas de informação em redes sociais suficientemente densas, por outro lado, podem ser desencadeadas não por agentes especialmente influentes, mas por agentes localizados próximos ou dentro de *clusters* de agentes conectados (HARRIGAN; ACHANANUPARP; LIM, 2012).

3.2.3 Sistema assortativo e disassortativo: o grau de correlação

Uma rede é dita mista assortativa se seus nós (atores) têm muitas conexões que tendem a ser conectados a outros nós com muitas conexões. Já uma rede é mista disassortativa quando muitos de seus nós ligam-se a outros nós com baixa conexão. Utilizar uma propriedade estrutural da rede, o seu grau, e a partir dela inferir outra propriedade que leva em conta a posição das ligações, oferece uma ótica interessante de análise. Em específico, em uma rede

¹⁸ O grau de distribuição do network é dado por $g(k) = \binom{N-1}{k} q^k (1-q)^{N-k} \approx e^{-\langle k \rangle} \frac{\langle k \rangle^k}{k!}$. Desta forma, o a centralidade de grau média é dada por $\langle k \rangle = \sum_k k g(k)$ e o a centralidade de grau média quadrada por $\langle k^2 \rangle = \sum_k k^2 g(k)$.

mista assortativa espera-se obter um núcleo de nós com altos graus, rodeado por uma periferia de nós menos densa, com nós de menor grau. A relação núcleo-periferia é típica de redes sociais. Uma rede mista disassortativa não costuma ter uma divisão núcleo-periferia, mas sim um padrão mais uniforme, como no caso de redes tecnológicas e biológicas (NEWMAN, 2012).

Pode-se mensurar a assortividade de uma rede usando o coeficiente de correlação, dado por Newman (2012):

$$r = \frac{S_1 S_e - S_2^2}{S_1 S_3 - S_2^2} \quad (8)$$

sendo:

$$S_e = \sum_{ij} g_{ij} k_i k_j \quad (9)$$

$$S_1 = \sum_i k_i \quad S_2 = \sum_i k_i^2 \quad S_3 = \sum_i k_i^3 \quad (10)$$

Valores positivos de r indicam que a rede é um mista de assortativa, bem com valores negativos de r indicam que a rede é um misto de disassortativa; se zero, diz-se que a rede é neutra.

Esta análise tem implicações para questões de resiliência da rede, assunto de muita discussão na literatura, como em Callaway et al. (2000) e Albert, Jeong e Barabási (2000). Newman (2002) encontrou que em redes mistas assortativas, a remoção de nós de alto grau é uma estratégia ineficiente para a destruição de conectividade de rede, pois provavelmente estes nós tendem a ser agrupados a um núcleo de alto grau, de modo que removê-los é um pouco redundante. Em redes mistas disassortativas, ataques a componentes gigantes são muito mais eficazes.

Redes sociais em que queremos “quebrar” o efeito da difusão são resistentes, pelo menos contra simples ataques direcionados, como os ataques ao nó de grau mais elevado. No entanto, redes nas quais o processo de difusão é benéfico, como redes de tecnologia, apresentam grande vulnerabilidade. Desta forma, redes mistas assortativas têm maior percolação e são mais robustas quanto à remoção de nós de alto grau, enquanto redes mistas disassortativas, apresentam menor percolação e são mais vulneráveis.

3.2.4 Beta-centralidade: uma medida de poder

Bonacich (1987) levantou a questão de que poderia haver um conflito entre centralidade e poder que as medidas de centralidade usuais não seriam capazes de identificar. Algumas vezes, o agente mais poderoso poderia ser o semiperiférico e não propriamente o central. O autor identificou que quando a relação entre os agentes é positiva, as medidas tradicionais de centralidade coincidem com o agente com maior poder. Porém, quando a relação é negativa, as tradicionais medidas de centralidade frequentemente falham.

Relações positivas são relações nas quais os atores ganham poder quando se conectam a outros atores que têm maior status que o seu (mais conectados). Um exemplo de relação positiva são os processos de difusão tecnológica. Relações negativas são aquelas onde os atores ganham poder quando estão conectados com outros atores de status inferior ao seu, ou que não são muito bem conectados. Uma relação negativa corresponde a um poder de “soma-zero”; para um ator ganhar o outro deve perder. Dentre exemplos desta relação estão as questões de mercado, que envolvem poder de barganha, bem como crises econômicas e espalhamento da inflação.

Bonacich (1987) desenvolveu a chamada *beta-centralidade*, em que utiliza um parâmetro β – controlado pelo analista. Este parâmetro reflete a extensão em que o poder está ligado à centralidade dos outros. A medida de beta-centralidade difere das usuais por considerar a estrutura de toda a rede no cálculo dos escores de centralidade de cada ator.

A equação para o beta-centralidade é dada por:

$$C_\beta(i) = \sum_{j=1}^n g_{i,j} (\alpha + \beta C_\beta(j)) \quad (11)$$

na qual α é um parâmetro de escala, que é definido para normalizar o resultado; $g_{i,j}$ é a matriz adjacente; β é um valor selecionado pelo analista que reflete o montante da dependência da centralidade do ator i nas centralidades dos quais o ator i está diretamente ligado. A solução sugere que β esteja no intervalo $(-\kappa, +\kappa)$, em que $\kappa = 1/v$, e v é o maior autovalor. Desta forma, quando $\beta = 0$, equivale à centralidade de grau e quanto $\beta = \kappa$, à centralidade autovetorial (RODAN, 2011). Se atribuir-se um pequeno valor de β para a equação, a análise é ponderada para a estrutura local circundante ao ator. Já grandes valores de β ponderam a análise para a estrutura de rede mais ampla (PRELL, 2011).

Desta forma, setores que diminuem a sua centralidade conforme β aumenta, contribuem mais para transmitir efeitos de choques de demanda e inflação, já que as ligações a nível local são mais relevantes. Os setores que a centralidade aumenta quando β aumenta são mais eficientes para disseminar novas técnicas, evidenciando a importância da estrutura global da rede neste processo de difusão. Nesta abordagem, a noção de que o poder surge da conexão com outros fracos e não com outros fortes é interessante, apontando outra maneira em que as posições dos atores em estruturas de rede dota-os com diferentes potenciais.

3.3 Base de dados

Nesta pesquisa empregaram-se duas bases de dados, em vista da mudança metodológica ocorrida no Sistema de Contas Nacionais do Brasil. Para o ano de 1985, os dados utilizados foram da Matriz Insumo-Produto do Brasil de 1985, em específico a Matriz de Coeficientes Técnicos Intersetoriais, para 42 setores e 80 produtos (IBGE, 1995).

A MIP é elaborada a partir das Contas Nacionais, também de responsabilidade do IBGE. O processo de construção da MIP se dá em duas etapas: (i) compilação de diversas fontes de dados e construção de quadros básicos de produção e consumo, e (ii) aplicação de um modelo matemático que, a partir destes quadros e de hipóteses sobre a tecnologia, calcula uma matriz de coeficientes técnicos de acordo com o modelo desenvolvido por Leontief, com pequenas variações (IBGE, 2008). A MIP, de forma geral, é dada por uma matriz de coeficientes técnicos diretos. Esta mostra quanto determinada atividade econômica necessita consumir das demais atividades para que possa produzir uma unidade monetária adicional. É a partir desta matriz que se desenvolve o Modelo de Leontief, em que a produção de cada atividade é calculada a partir de uma demanda final exógena (IBGE, 2008). A matriz de coeficientes técnicos de produção, B_n , apresenta cada setor em relação a cada produto utilizado como insumo. O termo b_{ij} , deve ser interpretado como sendo a produção total do setor i que é necessária para produzir uma unidade de demanda final do setor j .

Utilizou-se 1985 como primeiro ano de análise por ser a MIP mais antiga que se teve acesso. Com a mudança da metodologia por parte do IBGE, para séries mais recentes, o IBGE desenvolveu apenas MIP para 12 setores ou 55 setores. Como representação do período atual, o ano de 2007 foi escolhido em vistas de não pegar influências da crise econômica sobre os

setores econômicos – dado que o ano mais recente disponível é o de 2009. Desta forma, Para 2007 empregou-se a base de dados do Núcleo de Economia Regional e Urbana da Universidade de São Paulo (NEREUS), também para 42 setores e 80 produtos (GUILHOTO; SESSO FILHO, 2005; 2010). Os 42 setores da MIP do IBGE e do NEREUS são compatíveis e não seguem a classificação CNAE – ver Anexo B.

A partir da Matriz de Coeficientes Técnicos Intersetoriais (B_n), montou-se a rede de relações intersetoriais. Realizou-se um cálculo de média dos coeficientes técnicos, μ , e então um corte para definir se os setores se relacionavam ou não. O corte foi definido arbitrariamente como dois desvios-padrão, σ , abaixo da média. Desta forma, tem-se:

$$g_{ij} = \begin{cases} 1; & b_{ij} \geq \mu - (2\sigma) \\ 0; & b_{ij} < \mu - (2\sigma) \end{cases} \quad (12)$$

A partir da relação apresentada em (12), constrói-se uma matriz binária, que mostra as relações intersetoriais da economia brasileira. O software utilizado para gerar as redes, bem como calcular as medidas propostas é o UCINET 6 (BORGATTI.; EVERETT; FREEMAN, 2002).

4 APLICAÇÃO DE ANÁLISE DE REDES AO ESTUDO DA ESTRUTURA ECONÔMICA BRASILEIRA

4.1 Os setores da economia brasileira de 1985 e 2007

Ao se analisar a Matriz Insumo-Produto brasileira, em específico a matriz de coeficientes técnicos, pode-se identificar, em uma simples análise, os setores com maiores coeficientes. A matriz de coeficientes técnicos retrata a tecnologia de produção de determinado sistema econômico, em que em cada vetor coluna tem-se a estrutura de insumos do setor correspondente por unidade de seu respectivo setor, ou seja, o coeficiente técnico mostra quanto de insumos do setor i é demandando pelo setor j .

O Quadro 1 apresenta um resumo da matriz de coeficientes técnicos brasileira de 1985. O corte de análise feito foi de 10%, assim, a quantidade necessária de insumos do setor i para produzir o produto do setor j apresentada no quadro foram as superiores a 10%.

Insumos (Setores i)	Produção (Setores j)
Agropecuária	Elementos Químicos (26%); Indústria do Café (58,1%); Beneficiamento de Produtos Vegetais (43,6%); Abate de Animais (60,4%); Indústria de Laticínios (41,3%); Fabricação de Óleos Vegetais (36,3%); Outros Produtos Alimentares (10,6%).
Extração de Petróleo, Carvão e Gás	Refino do Petróleo (20,1%).
Metalurgia de não Ferrosos	Fabricação de Material Elétrico (11,2%).
Fabricação de outros Produtos Metalúrgicos	Peças e Automóveis (11,2%).
Fabricação de Minerais não Metálicos	Construção Civil (10,5%).
Fabricação de Peças e outros Veículos	Fabricação de Automóveis, Caminhões e Ônibus (34%).
Refino de Petróleo	Indústria da Borracha (13,1%); Fabricação de Produtos Químicos Diversos (12,2%); Indústria de Artigos Plásticos (36,3%); Transporte (15,8%).
Beneficiamento de Produtos Vegetais	Outros Produtos Alimentares (13,6%).

Quadro 1 – Coeficientes técnicos da economia brasileira de 1985

Fonte: Elaboração próprio com base em IBGE (1995).

Verifica-se, a partir de uma análise de efeitos diretos, que os setores que apresentam maior influência sobre os outros são os setores de Agropecuária e de Refino de Petróleo. Por exemplo, o setor de agropecuária contribui com 60,4% do valor bruto da produção do setor de Abate de Animais e 58,1% da Indústria de Café. O setor de Refino de Petróleo fornece 36,3% do valor bruto de produção da Indústria de Artigos Plásticos. Os setores de Agropecuária e de

Refino de Petróleo representavam em 1985 setores estratégicos na economia brasileira, já que muitos setores dependem do fornecimento de seus insumos.

Em 2007, continuando com o corte de 10%, a situação modifica-se, e os setores estratégicos passam a serem outros:

Insumos	Produção
Agropecuária	Elementos Químicos (14,3%); Indústria do Café (39,2%); Beneficiamento de Produtos Vegetais (34,5%); Abate de Animais (34,6%); Indústria de Laticínios (34%); Fabricação de Óleos Vegetais (42%).
Extração de Petróleo, Carvão e Gás	Refino do Petróleo (28,9%).
Fabricação de Minerais não Metálicos	Construção Civil (11%).
Siderurgia	Fabricação de outros Produtos Metalúrgicos (15,9%); Fabricação e Manutenção de Máquinas e Equipamentos (12,7%); Fabricação de Peças e outros Veículos (11%).
Fabricação de Peças e outros Veículos	Fabricação de Automóveis, Caminhões e Ônibus (20,9%).
Refino de Petróleo	Indústria da Borracha (20,1%); Fabricação de Produtos Químicos Diversos (14,5%); Indústria de Artigos Plásticos (29,2%); Transporte (12,2%).
Indústria Têxtil	Fabricação de Artigos do Vestuário (31,5%).
Fabricação de Óleos Vegetais	Beneficiamento de Produtos Vegetais (15,2%).
Comércio	Fabricação de Óleos Vegetais (11,1%).
Comunicações	Serviços de Prestados às Empresas (12,2%).

Quadro 2 – Coeficientes técnicos da economia brasileira de 2007

Fonte: Elaboração própria com base em GUILHOTO; SESSO FILHO (2005; 2010).

O setor de Siderurgia, que não estava presente no Quadro 1, de 1985, passa, juntamente com os setores de Agropecuária e Refino de Petróleo, a compor o grupo dos setores estratégicos. Verifica-se uma maior diversificação dos setores com importância na estrutura de influências da economia em 2007.

Não existe consenso na literatura sobre qual o melhor método de identificação dos setores-chave da economia. O que há é o reconhecimento da importância das análises intersetoriais para determinar os setores de maior influência no sistema econômico. Utilizando um método simples amplamente aceito na análise dos setores-chave da economia, o Índice de Ligações para Trás e para Frente, tem-se a Tabela 1¹⁹:

¹⁹ O Índice de Rasmussen-Hirschman, remonta aos trabalhos de Rasmussen (1956) e Hirschman (1958). Os autores calculam dois índices de ligações: (a) índice de ligação para trás (*backward linkage*), que mede o poder de dispersão dos efeitos econômicos provocados por determinado setor *j*, e (b) índice de ligação para frente (*forward linkage*), que mensura a sensibilidade da dispersão dos efeitos econômicos provocados por determinado setor *i*. Por meio destes índices consegue-se determinar o quanto um setor produtivo demanda e é demandado dos outros setores e, desta forma, consegue-se identificar os setores produtivos que apresentam maior poder de encadeamento dentro da economia. Para valores maiores que “um”, o setor apresenta um grau de ligação acima da média e, portanto, representa um setor-chave.

Tabela 1 – Índices de Ligações Setoriais de 1985 e 2007: setores de destaque

Setores	Código	Encadeamento para trás	Encadeamento para frente
1985			
Agropecuária	1	0,834	3,350
Siderurgia	5	1,397	2,035
Refino do petróleo	17	0,940	2,722
2007			
Agropecuária	1	0,859	2,739
Refino do Petróleo	17	1,140	2,514
Comércio	34	0,721	2,353

Fonte: Resultados da pesquisa.

A Tabela 1 mostra que os setores de destaque, seguindo a metodologia usual, em 1985, seriam os setores de Agropecuária, Siderurgia e Refino de Petróleo. Já para 2007, os setores são os mesmos, com a Siderurgia perdendo espaço e o Comércio assumindo papel importante. Esta análise parece condizente com a estrutura produtiva brasileira dos anos analisados, contudo diz pouco sobre os processos de difusão. Sabe-se que estes são setores-chave, ou seja, que estes têm importância em setores a jusante e a montante, mas é insuficiente para a análise complexa da estrutura produtiva de uma economia.

4.2 Topologia das redes de interações setoriais da economia brasileira

A partir da metodologia de grafos e dos procedimentos já expostos, é possível construir a rede que representa as interações setoriais da economia brasileira em 1985, que é uma matriz binária, assumindo valor 1 se há relação e 0 se não há relação entre os setores. Esta rede pode ser vista na Figura 19²⁰:

²⁰ Os dados correspondentes da rede de 1985 estão disponíveis para requisição. Para gerar a matriz de interações setoriais forçou-se a simetria, ou seja, se o setor i apresentou ligação com o setor j , então o setor j deve apresentar, necessariamente, ligação com o setor i . A matriz simétrica é essencial para os procedimentos posteriores.

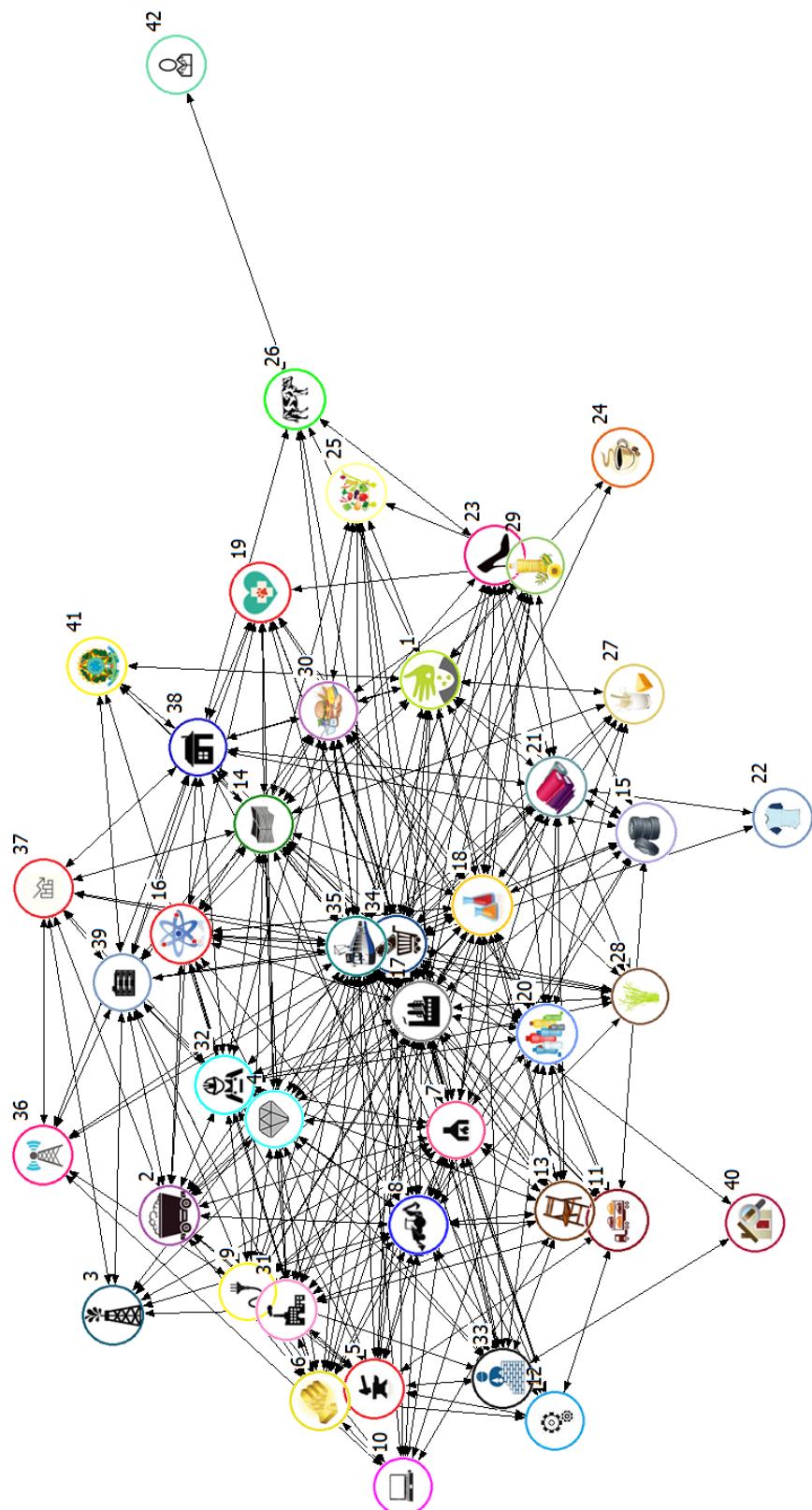


Figura 19 – Rede de interações setoriais de 1985
Fonte: Resultados da pesquisa.

Os setores econômicos são representados pelas esferas e seu número – acima, à direita – corresponde ao código da Matriz Insumo-Produto que pode ser conferido no Anexo B. As setas indicam a relação econômica entre os setores e a distância indica a proximidade de relação entre os setores.

A rede de relações setoriais de 2007 é dada pela Figura 20²¹:

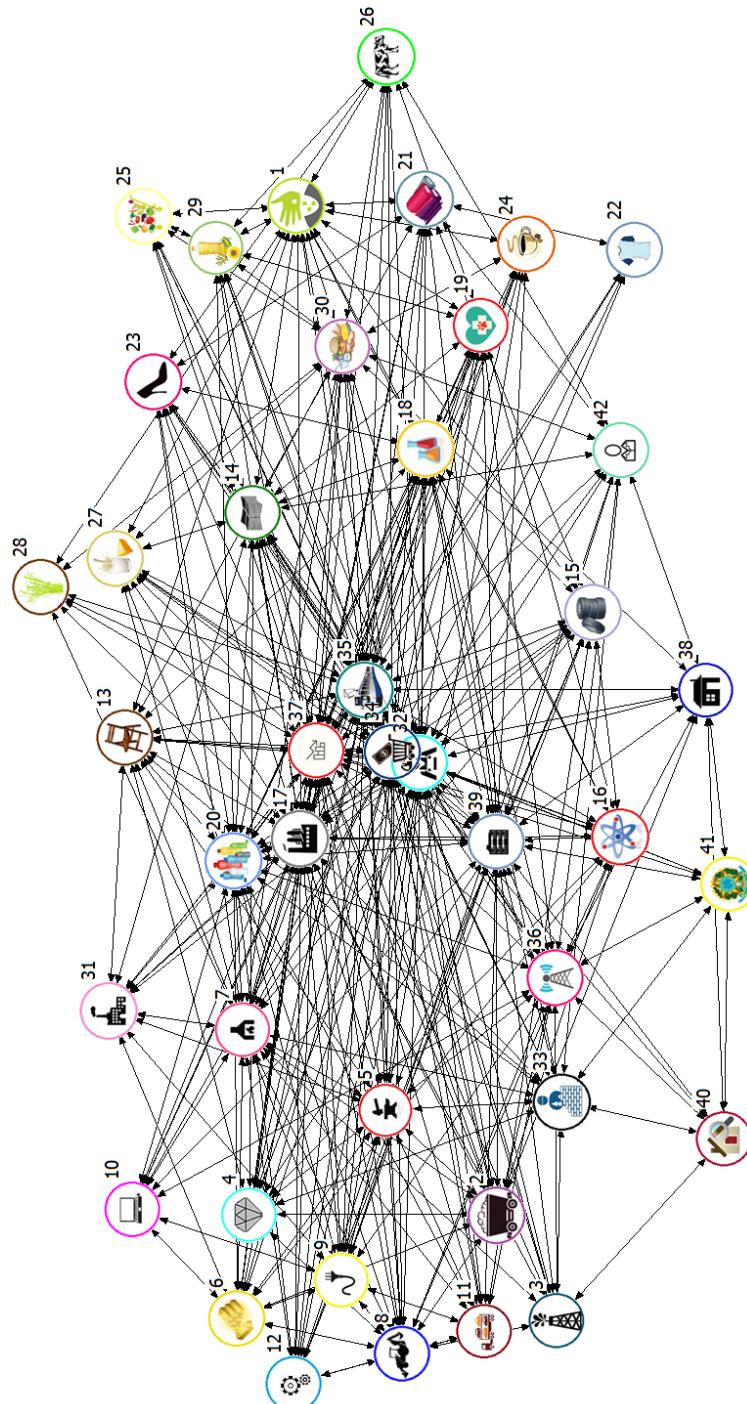


Figura 20– Rede de interações setoriais de 2007

Fonte: Resultados da pesquisa.

²¹ Os dados correspondentes da rede de 2007 estão disponíveis para requisição. Para gerar a matriz de interações setoriais forçou-se a simetria das relações, tal qual para 1985.

Ao se analisar as Figuras 19 e 20, verifica-se uma grande diferença entre as redes. A rede interações setoriais de 2007 é mais conectada e mais centralizada que a de 1985. A densidade, que informa o grau de conexão diádica da rede, para a rede de interações setoriais de 1985 foi de 33,5%, enquanto que de 2007 foi de 40,4%. A distância média passou de 1,708 em 1985, para 1,596, assim como o diâmetro da rede passou de 3 para 2. Estes resultados corroboram a análise visual das figuras. Desta forma, entende-se que a economia brasileira em 2007 tornou-se mais propícia a processos de difusão, já que é mais conectada e seus setores mais próximos uns dos outros.

4.2.1 Medidas da centralidade: os setores-chave

As diferentes medidas de centralidade dão informações importantes sobre a topologia de rede. Ao se analisar as medidas de centralidade das redes de interação setorial, cria-se a possibilidade de se realizar interessantes inferências sobre a estrutura da economia brasileira. Uma das mais importantes medidas é a centralidade de grau, esta indica o quanto os setores da economia estão se relacionando.

Em 1985, a centralidade de grau média da rede de interação setorial foi de 13,17, ou seja, cada setor, em média, se relaciona com outros treze setores. Contudo, não se interessa apenas sobre o comportamento médio, e sim sobre quais setores que se relacionam mais e quais menos, ou seja, quais setores seriam os setores-chave da economia. Para isso, mede-se a centralidade de grau de cada um dos 42 setores. Na Tabela 2 mostram-se os setores com maior e menor centralização em 1985²², ou seja, os setores mais importantes e menos importantes em termos de relações na economia.

²² Definiram-se os setores de destaque como os setores com centralidade de grau maior que a média acrescida do desvio-padrão ($13,714 + 8,007 = 21,721$). Já os setores de menor centralidade de grau são os com centralidade de grau menor do que a média menos o desvio-padrão (5,707).

Tabela 2 – Centralidade de grau da rede de interações setoriais em 1985

Setores	Código	Centralidad e de grau	Centralidade de grau Normalizado (%)
Comércio	34	39	95,122
Transporte	35	34	82,927
Refino de Petróleo	17	30	73,171
Fabricação de outros Produtos Metalúrgicos	7	23	56,098
Fabricação e Manutenção de Máquinas e Equipamentos	8	23	56,098
Fabricação de Artigos do Vestuário	22	2	4,878
Aluguel de Imóveis	40	2	4,878
Indústria do Café	24	2	4,878
Serviços Privados não Mercantis	42	1	2,439

Fonte: Resultados da pesquisa.

Os setores de Comércio, Transporte, Refino de Petróleo, Fabricação de outros Produtos Metalúrgicos e de Fabricação e Manutenção de Máquinas e Equipamentos destacaram-se como os setores com maior centralização. Estes são, de forma geral, os setores-chave para a disseminação de choques na economia. Podemos verificar que, ao comparar os resultados com a Tabela 1, os setores-chave são diferentes. Apenas o setor de Refino de Petróleo é compatível com a análise tradicional. Os setores com menor centralização correspondem aos setores de menos influência dentro da economia brasileira em 1985. A Figura 21 apresenta a rede de interações setoriais conforme a centralidade de grau, em que o tamanho da esfera acompanha a centralidade de grau; quanto maior, mais central:

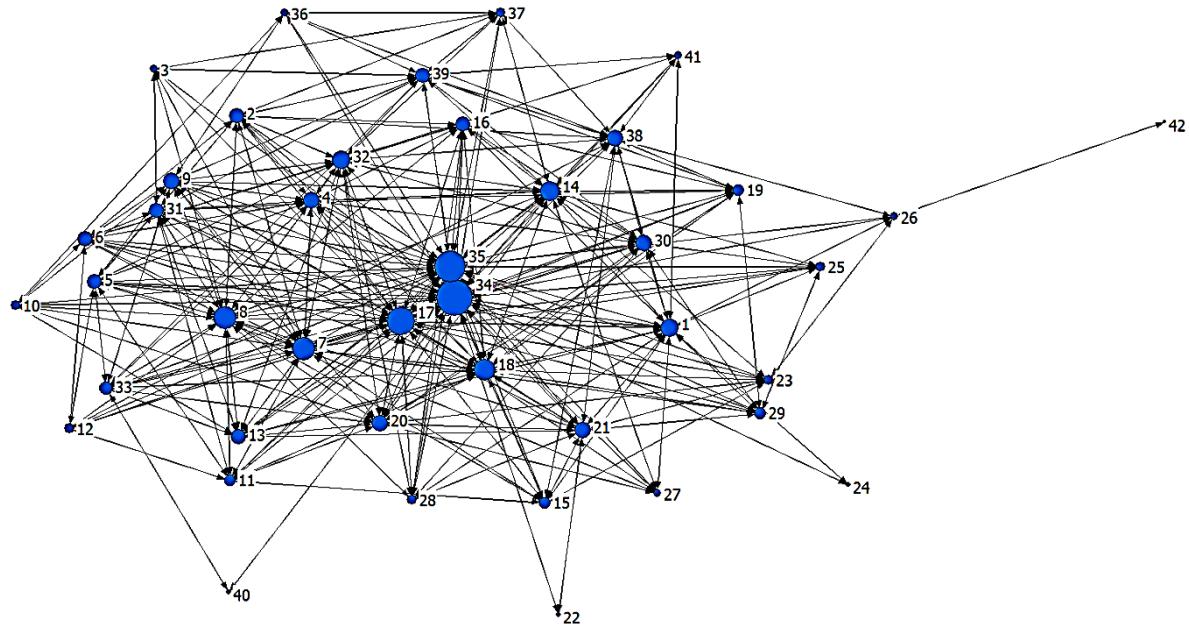


Figura 21 – Rede de interações setoriais de 1985: centralidade de grau
Fonte: Resultados da pesquisa.

Outra medida de centralidade é a centralidade de intermediação, que identifica os setores que estão em posições estratégicas de controle da informação. Os setores com maior e menor grau de intermediação podem ser vistos na Tabela 3²³:

Tabela 3 – Centralidade de intermediação da rede de interações setoriais em 1985

Setores	Código	Centralidade de Intermediação	Centralidade de Intermediação Normalizado (%)
Comércio	34	195,716	23,868
Transporte	35	82,714	10,087
Fabricação de Artigos do Vestuário	22	0	0
Aluguel de Imóveis	40	0	0
Indústria do Café	24	0	0
Serviços Privados não Mercantis	42	0	0

Fonte: Resultados da pesquisa.

Assim os setores de Comércio e de Transporte são os setores estratégicos de 1985, ocupando lugar de conectores no sistema econômico. Já os setores de Fabricação de Artigos do Vestuário, Aluguel de Imóveis, Indústria do Café e Serviços Privados não Mercantis, com centralidade de intermediação zero, não estão entre outros dois setores, ou seja, não estão em uma situação estratégica em que podem controlar, reter ou distorcer informações.

Uma medida importante para se analisar a eficiência do sistema é a centralidade de proximidade, já que este mede a importância dos setores mais influentes em termos dos menos importantes – Tabela 4²⁴:

Tabela 4 – Centralidade de proximidade da rede de interações setoriais em 1985

Setores	Código	Distância	Centralidade Proximidade
Comércio	34	43	95,349
Transporte	35	48	85,417
Refino de Petróleo	17	53	77,358
Aluguel de Imóveis	40	82	50,000
Indústria do Café	24	82	50,000
Serviços Privados não Mercantis	42	116	35,345

Fonte: Resultados da pesquisa.

Os setores com maior proximidade, Comércio, Transporte e Refino de Petróleo, estão perto de outros setores, fazendo com que eles possam interagir e comunicar sem a necessidade de muitos intermediários, dinamizando a comunicação. De forma inversa, os setores com

²³ Definiram-se os setores de destaque como os setores com centralidade de intermediação maior que a média acrescida do desvio-padrão (46,689). Já os setores de menor centralidade de intermediação enfatizados foram os com grau zero.

²⁴ Definiram-se os setores de destaque como os setores com centralidade de proximidade maior que a média acrescida do desvio-padrão (69,271). Já os setores de menor centralidade de proximidade são os com grau de centralização menor do que a média menos o desvio-padrão (50,477).

maior distância, necessitam de muitos intermediários, já que estão localizados longe da maioria dos setores.

Outra medida de eficiência é a centralidade autovetorial, que indica a rapidez com que a informação flui no sistema – Tabela 5²⁵:

Tabela 5 – Centralidade autovetorial da rede de interações setoriais em 1985

Setores	Código	Centralidade Autovetorial	Centralidade Autovetorial Normalizado (%)
Comércio	34	0,305	43,137
Transporte	35	0,294	41,516
Refino de Petróleo	17	0,276	39,008
Fabricação de outros Produtos Metalúrgicos	7	0,223	31,528
Fabricação e Manutenção de Máquinas e Equipamentos	8	0,217	30,732
Fabricação de Produtos Químicos Diversos	18	0,211	29,814
Comunicações	36	0,066	9,385
Administração Pública	41	0,060	8,466
Indústria do Café	24	0,027	3,804
Fabricação de Artigos do Vestuário	22	0,025	3,536
Aluguel de Imóveis	40	0,024	3,438
Serviços Privados não Mercantis	42	0,003	0,439

Fonte: Resultados da pesquisa.

Os setores com maior centralidade autovetorial são os setores que são conectados a setores que são eles mesmos bem conectados, fazendo com que a informação demore menos para chegar. Os setores conectados de forma eficiente são o de Comércio, Transporte e Refino de Petróleo, que são por si altamente conectados. Os setores de Fabricação de outros Produtos Metalúrgicos, Fabricação e Manutenção de Máquinas e Equipamentos e Fabricação de Produtos Químicos Diversos tornam-se estratégico por estarem conectados a setores influentes.

De forma oposta, os setores com menor centralidade autovetorial são setores que estão conectados a outros setores com poucas conexões, fazendo com que a informação chegue com retardos. Estão entre os com menor centralidade autovetorial os setores com menos conexões como Fabricação de Artigos do Vestuário, Aluguel de Imóveis, Indústria do Café e Serviços Privados não Mercantis e também os setores de Comunicação e Administração Pública. Estes últimos dois setores estão conectados a setores de pouca influência informacional.

A centralidade de grau média da rede de interação setorial em 2007 foi de 16,571. Assim, em 2007, em média, cada setor se relacionava com outros 16 setores, 3 setores a

²⁵ Definiram-se os setores de destaque como os setores com centralidade autovetorial maior que a média acrescida do desvio-padrão (0,207). Já os setores de menor grau de autovetorial são os com centralização menor do que a média menos o desvio-padrão (0,071).

mais do que em 1985. A Tabela 6 apresenta os setores de maior e menor centralidade de grau em 2007²⁶:

Tabela 6 – Centralidade de Grau da rede de interações setoriais em 2007

Setores	Código	Centralidade de grau	Centralidade de grau Normalizado (%)
Comércio	34	41	100
Transporte	35	39	95,122
Instituições Financeiras	37	36	87,805
S.I.U.P.	32	35	85,366
Refino de Petróleo	17	32	78,049
Serviços Prestados às Empresas	39	28	68,293
Fabricação de Açúcar	28	7	17,073
Aluguel de Imóveis	40	7	17,073
Fabricação de Artigos do Vestuário	22	5	12,195

Fonte: Resultados da pesquisa.

O setor de Comércio segue sendo o mais central, porém agora com 100% das ligações possíveis, ou seja, tem conexão com todos os demais setores da economia. O setor de Transporte também continua como o segundo mais central, porém com 95% das conexões possíveis – contra quase 83% em 1985. Refino de Petróleo, com 78% das ligações, manteve relativamente estável, em comparação a 1985. Fabricação de Artigos do Vestuário e Aluguel de Imóveis seguiram entre os menos centrais, mesmo aumentando a suas ligações, que em 1985 era de quase 5%, para 12% e 17% respectivamente.

Fato interessante é o setor de Instituições financeiras, que em 1985 tinha cerca de 20% das conexões possíveis, passar a ter quase 90% das conexões do sistema. O mesmo comportamento apresenta o setor de Serviços Industriais de Utilidade Pública (S.I.U.P.), que em 2007 apresentou 85% das ligações, contra aproximadamente 45% em 1985. Serviços Prestados às Famílias que detinham perto de 35% das ligações possíveis, passar a ter, em 2007, quase 70% delas. Serviços Privados não Mercantis, que tinha o pior desempenho em termos de ligações, cerca de 2% em 1985, em 2007 passou a ter quase 30% das ligações possíveis.

A Figura 22 representa a rede de interações setoriais de 2007, em que quanto maior a esfera, maior o centralidade de grau:

²⁶ Definiram-se os setores de destaque como os setores com centralidade de grau maior que a média acrescida do desvio-padrão (25,392). Já os setores de menor centralidade de grau são os com centralidade de grau menor do que a média menos o desvio-padrão (7,750).

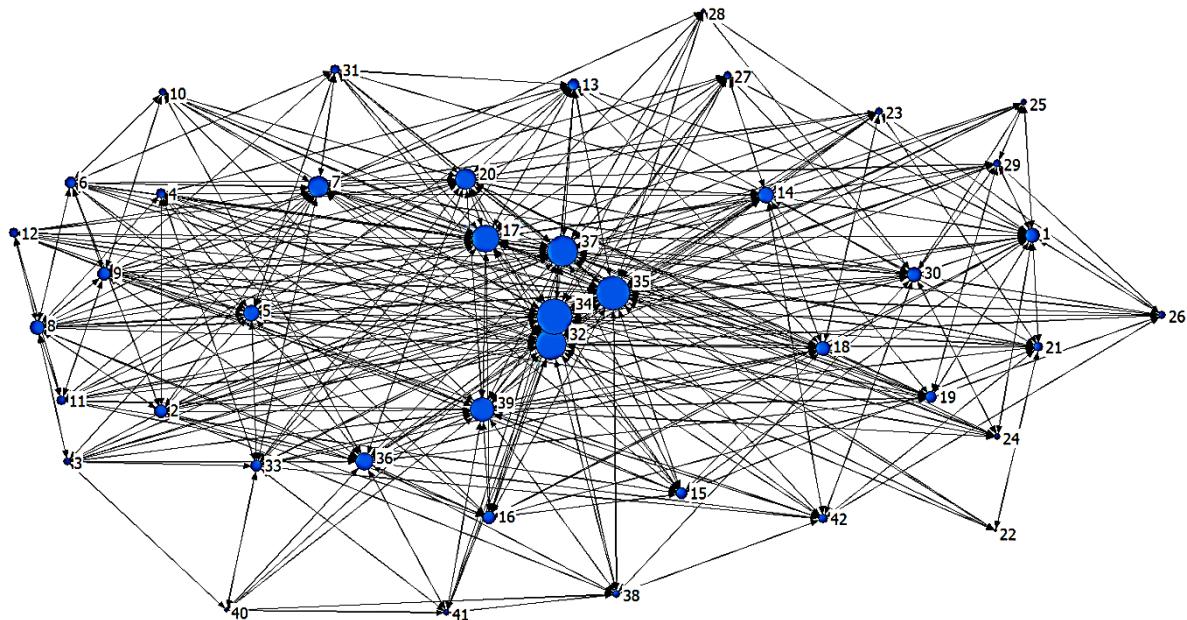


Figura 22 – Rede de interações setoriais de 2007: centralidade de grau
Fonte: Resultados da pesquisa.

A centralidade de intermediação da rede de interações setoriais de 2007 pode ser visto na Tabela 7²⁷:

Tabela 7 – Centralidade de intermediação da rede de interações setoriais em 2007

Setores	Código	Centralidade de Intermediação	Centralidade de Intermediação Normalizado (%)
Comércio	34	101,312	12,355
Transporte	35	74,993	9,145
Instituições Financeiras	37	61,974	7,558
S.I.U.P.	32	56,695	6,914
Refino de Petróleo	17	37,729	4,601
Fabricação de Artigos do Vestuário	22	0	0

Fonte: Resultados da pesquisa.

Em contraste com a rede de 1985, que tinham quatro setores com centralidade de intermediação zero, tem-se apenas um em 2007, o setor de Fabricação de Artigos do Vestuário. Comércio e Transporte continuam como os setores de maior intermediação, porém menor do que em 1985, devido ao aumento das conexões na rede como um todo. Instituições Financeiras, S.I.U.P. e Refino de Petróleo também passam a configurar os setores conectores de destaque da economia.

²⁷ Definiram-se os setores de destaque como os setores com centralidade de intermediação maior que a média acrescida do desvio-padrão (34,399). Já os setores de menor centralidade de intermediação enfatizados foram os com grau zero.

Os setores a serem destacados quanto à centralidade de proximidade para a rede de interações setoriais de 2007 podem ser vistos na Tabela 8²⁸:

Tabela 8 – Centralidade de proximidade da rede de interações setoriais em 2007

Setores	Código	Distância	Centralidade de Proximidade
Comércio	34	41	100
Transporte	35	43	95,349
Instituições Financeiras	37	46	89,13
S.I.U.P.	32	47	87,234
Refino de Petróleo	17	50	82
Serviços Prestados às Empresas	39	54	75,926
Fabricação de Artigos do Vestuário	22	77	53,247

Fonte: Resultados da pesquisa.

Também nesta medida de centralidade passam a compor setores com maior centralidade de proximidade o setor de Instituições Financeiras, S.I.U.P. e Serviços Prestados às Empresas. O que chama a atenção nesta medida é o fato das maiores distâncias terem diminuído significativamente. A maior distância de 1985 era de 116, do setor de Serviços Privados não Mercantis, que em 2007 passou a ser de 70. O setor com menor centralidade de proximidade em 2007, Fabricação de Artigos do Vestuário, manteve-se com o praticamente o mesmo grau que em 1985. Este fato revela que a economia brasileira em 2007 tornou-se muito mais próxima, mais eficiente em termos de condução de informação.

A outra medida de eficiência, a centralidade autovetorial, pode ser verificada na Tabela 9²⁹:

Tabela 9 – Centralidade autovetorial da rede de interações setoriais em 2007

Setores	Código	Centralidade Autovetorial	Centralidade Autovetorial Normalizado (%)
Comércio	34	0,286	40,443
Transporte	35	0,280	39,646
Instituições Financeiras	37	0,263	37,236
S.I.U.P.	32	0,259	36,587
Refino de Petróleo	17	0,246	34,853
Serviços Prestados às Empresas	39	0,212	29,951
Indústria de Artigos Plásticos	20	0,207	29,212
Serviços Privados não Mercantis	42	0,099	13,960
Indústria Têxtil	25	0,082	11,545
Administração Pública	41	0,069	9,694
Aluguel de Imóveis	40	0,05	7,058

Fonte: Resultados da pesquisa.

²⁸ Definiram-se os setores de destaque como os setores com centralidade de proximidade maior que a média acrescida do desvio-padrão (75,138). Já os setores de menor centralidade de proximidade são os com grau de centralização menor do que a média menos o desvio-padrão (53,119).

²⁹ Definiram-se os setores de destaque como os setores com centralidade autovetorial maior que a média acrescida do desvio-padrão (0,201). Já os setores de menor centralidade autovetorial são os com grau de centralização menor do que a média menos o desvio-padrão (0,085).

Juntamente com os setores com maior centralidade, que são ligados eles mesmos com setores altamente conectados, o setor de Indústria de Artigos Plásticos também apresenta elevado grau de centralidade autovetorial em 2007. Dos setores com menor centralidade autovetorial, apenas Aluguel de Imóveis compõe o grupo dos setores com menor centralidade. Administração Pública e Serviços Privados não Mercantis continuam com baixa centralidade autovetorial, como em 1985, e em 2007 a Indústria Têxtil também.

4.2.2. Limiar de Percolação

Para acelerar a disseminação de informações nos setores da economia brasileira é crucial identificar os pontos críticos de difusão das redes sociais subjacentes. Sistemas mal conectados tendem a apresentar limiares de percolação altos e, portanto, operam abaixo do seu ponto de ruptura – a formação de um componente gigante, ou no caso de redes sociais, de um grande componente. Redes sociais mais centralizadas, por outro lado, tendem a apresentar limiares de percolação baixos – e, portanto, pontos de ruptura baixos – devido à presença de setores que podem espalhar novos comportamentos ao longo de um grande número de ligações. O limiar de percolação foi calculado para as redes de interações setoriais de 1985 e 2007, como se mostra na Tabela 10:

Tabela 10 – Limiares de percolação

		1985	2007
Centralidade de grau média	$\langle k \rangle$	13,714	16,571
Variância da centralidade de grau	$\langle k^2 \rangle - \langle k \rangle$	64,109	77,816
Limiar de percolação	φ_c	0,0575	0,0493

Fonte: Resultados da pesquisa.

Enquanto em 1985 a média de relações dos setores foi de aproximadamente 14 setores, em 2007 passou para aproximadamente 17 setores. Como consequência da rede ter se tornado mais conectada, pode-se verificar que a variância também aumenta, fazendo com que o limiar de percolação seja menor. Em sistemas mais heterogêneos, ou seja, de maior variância, o limiar de percolação tende a ser mais baixo, já que há certa heterofilia, propiciando a difusão da inovação na rede. Desta forma, em 2007, choques de demanda, inflação e novas tecnologias tendem, de maneira geral, a se espalhar mais rapidamente do que em 1985. Em 1985, aproximadamente 6% dos setores teriam que ser atingidos pelo choque para a difusão se

espalhar pela rede. Já 2007, para a difusão se espalhar, em torno de 5% dos setores teriam que de ser incididos.

A fim de mostrar a intuição da influência do limiar de percolação em um processo de difusão, pega-se a equação (1), apresentada na seção 2.1, e utiliza-se como β , que mensura a velocidade da difusão, o limiar de percolação. A curva gerada pode ser vista na Figura 23:

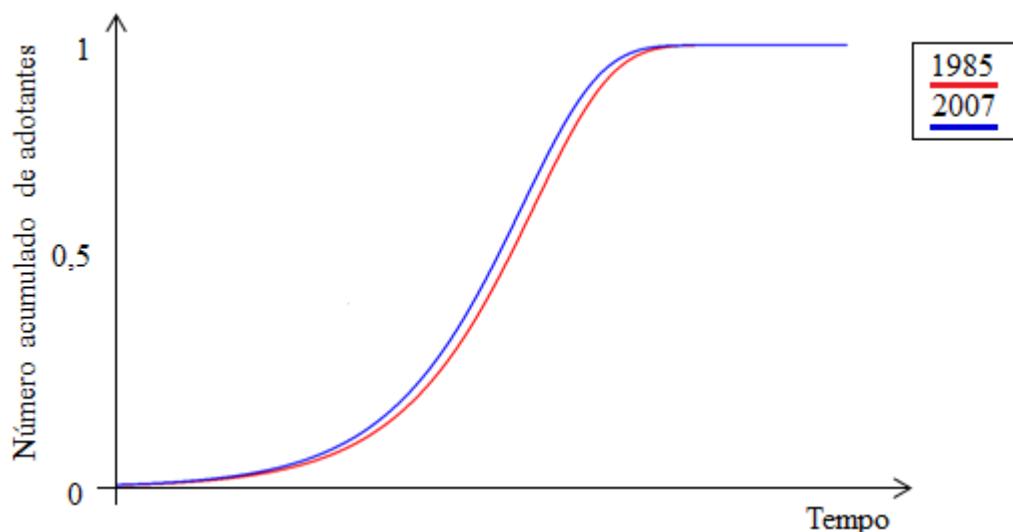


Figura 23 – Limiar de Percolação

Fonte: Resultados da pesquisa.

A curva em azul, que representa o ano de 2007, é mais inclinada do que a curva em vermelho, que representa o ano de 1985. O que mostra que o processo de difusão em 2007 é mais rápido do que em 1985, ou seja, em 1985 a massa crítica demora um tempo a mais para ser atingida. Esse fato já era esperado, dado o aumento da conexão entre os setores em 2007.

O resultado sugere que os processos de difusão, de forma geral, se difundem de forma mais rápida em 2007 do que em 1985. Contudo, há diferentes processos de difusão, como a difusão de uma tecnologia, o choque de demanda e o processo inflacionário, que apresentam comportamentos diferentes.

4.3 Padrões de difusão nas redes de interações setoriais da economia brasileira

Para inferir sobre o padrão de semelhança da rede, faz-se a análise do grau de correlação da rede. Este cálculo mostra se a rede é mista assortativa, padrão de relações

homofílicas, ou mista disassortativa, padrão de relações heterofílicas. A Tabela 11 mostra os resultados para 1985 e 2007:

Tabela 11 – Grau de correlação

	1985	2007
r	-0,000027298	-0,000019896

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tanto para 1985, como para 2007, as redes mostraram relações virtualmente neutras, ou não assortativas. Pode-se dizer que as relações técnicas entre setores introduzem certo grau de disassortatividade. Seguindo a análise de Barabási (2014) e plotando $k_{nn}(k)$ e k , corrobora-se o resultado, encontrando um padrão neutro, tendo ao disassortativo, nas relações técnicas entre os setores nas redes, como a Figura 24 mostra:

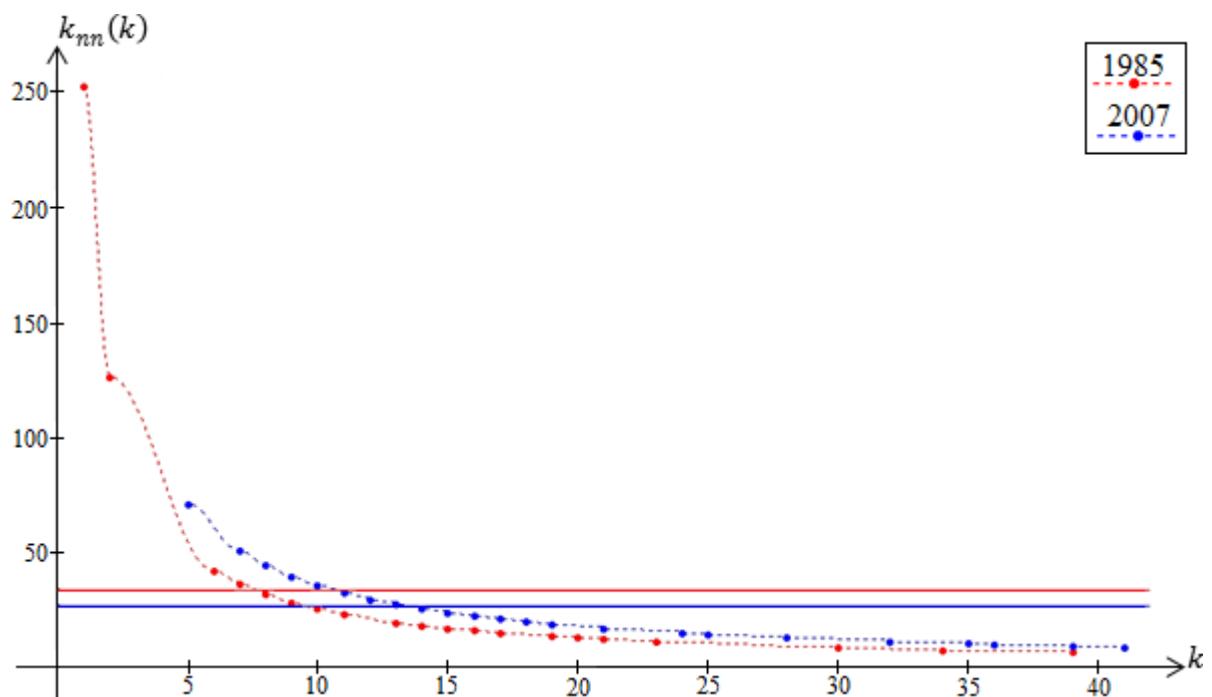


Figura 24 – Grau de correlação das redes de 1985 e 2007

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nota: as linhas sólidas apresentam o valor médio de $k_{nn}(k)$.

Verifica-se, desta forma, que as relações da rede de interações setoriais apresentam padrão não assortativo. Neste caso, algumas das ligações entre os setores podem ser chamadas de pontes, conectando diferentes grupos de setores; é o que Granovetter (1973) chamou de “laços fracos”. Estes laços são de suma importância para os processos de difusão, já que sem eles, uma inovação ficaria presa a determinados setores. A rede apresentando um padrão

misto de disassortatividade, perto de neutro, faz com que seja possível uma inovação se espalhar pela economia.

Acemoglu et al. (2012) e Acemoglu, Ozdaglar e Tahbaz-Salehi (2013) sugere que interconexões de primeira ordem na rede intersetorial fornecem pouca ou nenhuma informação sobre os efeitos em cascata, segundo a qual uma nova informação direcionada a um setor não afeta apenas os setores a jusante imediatos, mas também os setores a jusantes destes, e assim por diante. A questão dos efeitos em cascata e dos diferentes processos de difusão pode ser analisada a partir do que se definiu como centralidade-beta.

Ao analisar-se comportamento da rede de interações setoriais de 1985 para os diferentes valores de β , encontrou-se que a análise é plausível para valores entre $\beta = -0,057$ e $\beta = 0,057$, já que o maior autovalor é 17,51 e, assim, $\kappa = 1/v \cong 1/17,51 \cong 0,057$. Como já apresentado, setores em que a centralidade decresce quando os valores de β aumentam, são os setores que tem mais poder nas ligações locais, ou seja, nos setores que utilizam base de produção semelhante. Os efeitos dos choques de demanda e o espalhamento da inflação se dão, se forma geral, neste tipo de ligações.

A Figura 25 apresenta os setores-chave para a difusão de choques de demanda e espalhamento da inflação em 1985:

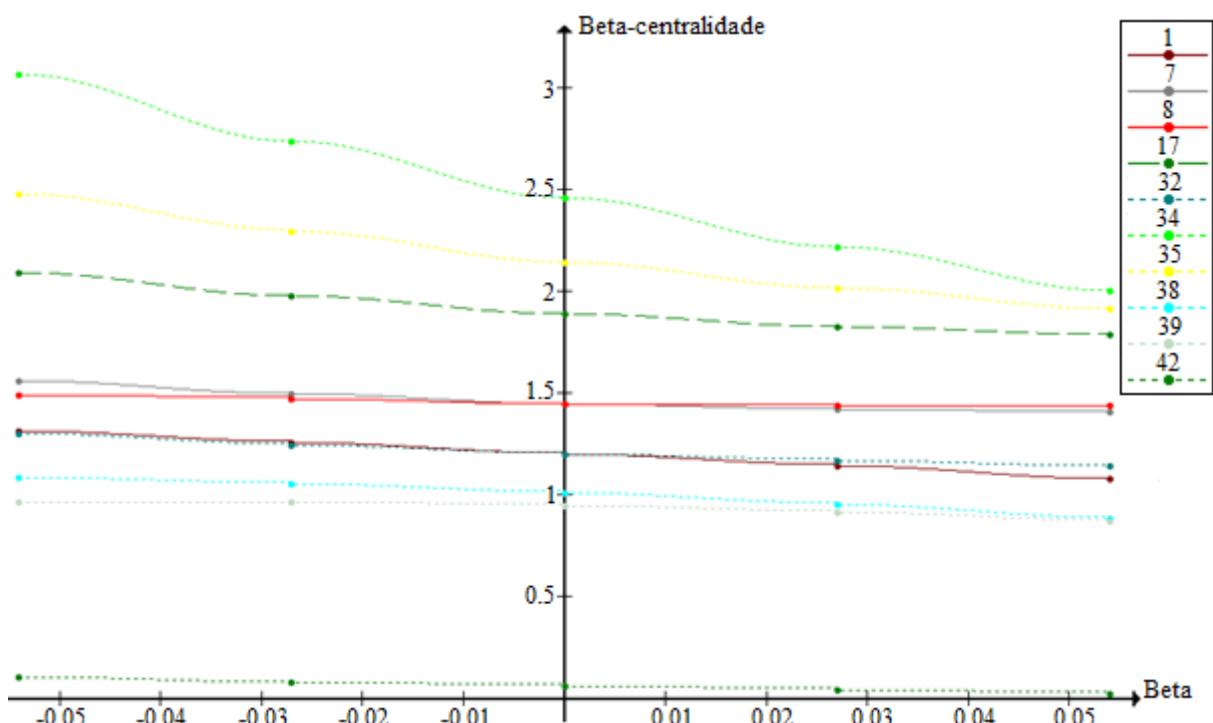


Figura 25 – Beta-centralidade versus β para a rede de 1985: padrão de decrescimento
Fonte: Resultados da pesquisa.

Os setores que diminuem a sua centralidade ao longo do aumento de β são os setores de Agropecuária (1), Fabricação de outros Produtos Metalúrgicos (7), Fabricação e Manutenção de Máquinas e Equipamentos (8), Refino de Petróleo (17), Serviços Industriais de Utilidade Pública (32), Comércio (34) e Transporte (35), Serviços Prestados às Famílias (38), Serviços Prestados às Empresas (39), e Serviços Privados não Mercantis (42), sendo este último periférico. Neste caso, as ligações mais importantes são as de curto alcance, fazendo com que os processos de difusão considerados sejam os de propagação de choques de demanda e espalhamento da inflação, indicando a capacidade de estes setores transmitirem entre si, em ramos industriais semelhantes. Os setores de maior destaque para o espalhamento da inflação e choques de demanda são os setores de Comércio (34) e Transporte (35).

Os setores em que a centralidade aumenta quanto os valores de β aumentam de $-0,057$ para $0,057$, são os setores-chave para a difusão tecnológica. A Figura 26 apresenta os setores-chave para a difusão tecnológica em 1985:

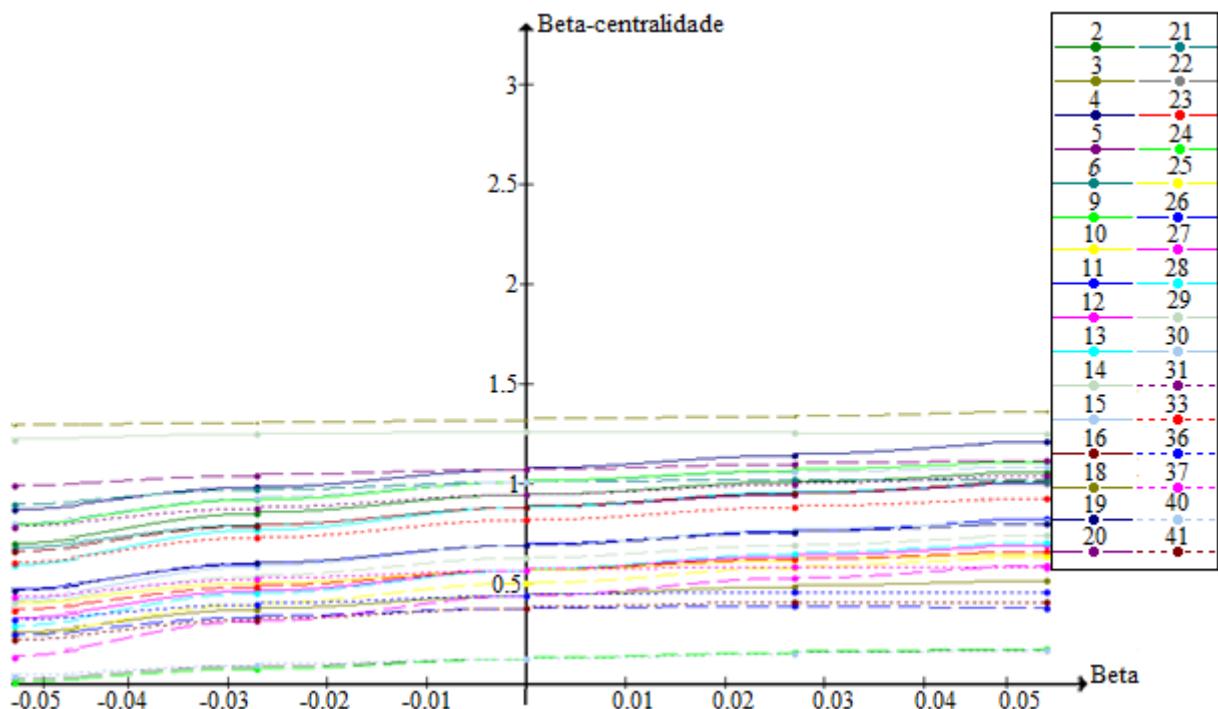


Figura 26 – Beta-centralidade versus β para a rede de 1985: padrão de crescimento
Fonte: Resultados da pesquisa.

Os setores que apresentam o padrão característico para difusão tecnológica são Extrativa Mineral (exceto combustíveis) (2), Extração de petróleo, carvão e gás (3), Fabricação de Minerais não Metálicos (4), Siderurgia (5), Metalurgia de Metais não ferrosos (6), Fabricação de Material Elétrico (9), Fabricação de Equipamentos Eletrônicos (10), Fabricação de Automóveis, Caminhões e Ônibus (11), Fabricação de Peças e outros Veículos

(12), Madeira e Mobiliário (13), Celulose, Papel e Gráfica (14), Indústria da Borracha (15), Fabricação de Elementos Químicos (16), Fabricação de Produtos Químicos Diversos (18), Indústria Farmacêutica e Veterinária (19), Indústria de Artigos de Plástico (20), Indústria Têxtil (21), Fabricação de Artigos do Vestuário (22), Fabricação de Calçados (23), Indústria do Café (24), Beneficiamento de Produtos Vegetais (25), Abate de Animais (26), Indústria de Laticínios (27), Fabricação de Açúcar (28), Fabricação de Óleos Vegetais (29), Fabricação de outros Produtos Alimentares (30), Indústrias Diversas (31), Construção Civil (33), Comunicações (36), Instituições Financeiras (37), Aluguel de Imóveis (40), Administração Pública (41). Para estes setores, os caminhos ditos mais logos são os mais importantes. Economicamente, significa dizer que estes setores tem grande influência na economia como um todo, e não apenas na sua “região” (setores a jusante e a montante imediatos). Assim, sendo, estes setores citados seriam os mais influentes para os processos de difusão de longo alcance, que no presente estudo é o processo de difusão tecnológica. Os setores de maior destaque para a difusão tecnológica em 1985 são os setores de Celulose, Papel e Gráfica (14) e Fabricação de Produtos Químicos Diversos (18).

Analizando estes resultados para uma figura semelhante à Figura 21, tem-se a Figura 27:

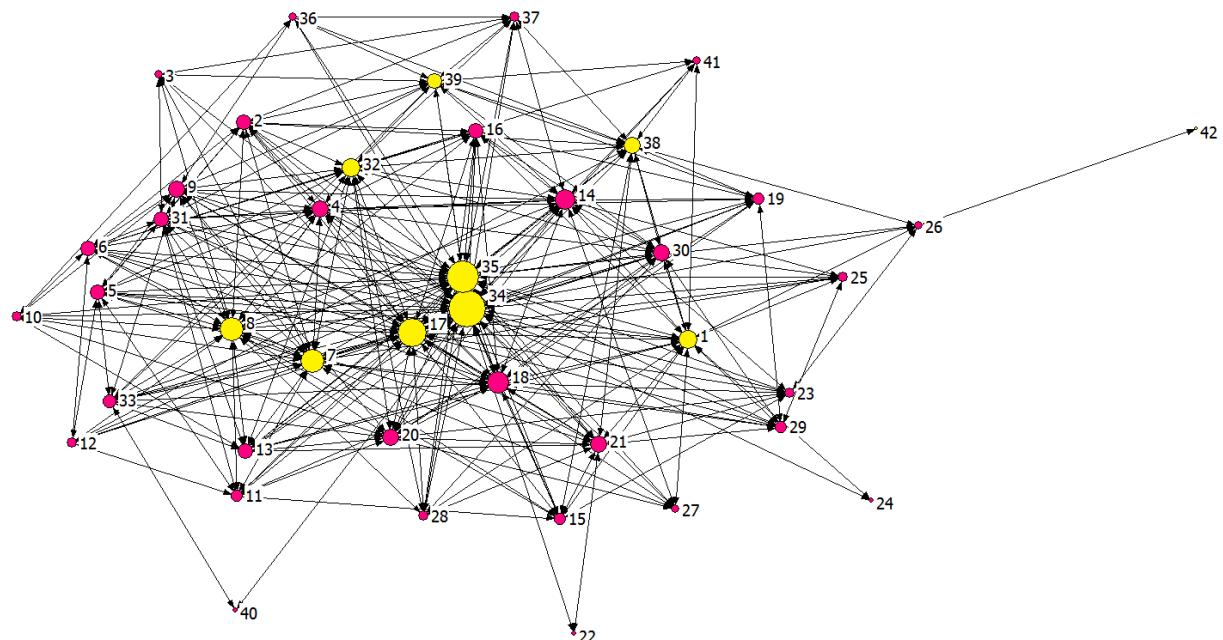


Figura 27 – Rede de interações setoriais de 1985: a beta-centralidade
Fonte: Resultados da pesquisa.

Em amarelo, são apresentados os setores em que a beta-centralidade diminui com o aumento de β , são os setores-chave para a difusão de choques de demanda e espalhamento da

inflação. Em rosa estão os setores cuja beta-centralidade cresceu com β , são os setores-chave para o processo de difusão tecnológica.

Note que apenas três dos setores-chave para a propagação de choques de demanda e espalhamento da inflação correspondem aos setores-chave apontados na primeira análise. O setor de Agropecuária (1) e de S.I.U.P (32) não seriam analisados como importantes para o processo de difusão em 1985, no entanto, com o enfoque desta nova metodologia, viu-se a importância deste setores. O setor de Serviços Privados não Mercantis (42), apesar de periférico, apresentou importância à difusão de choques de demanda e ao espalhamento da inflação, mesmo sendo o com menor centralidade de grau, em 1985. A análise da beta-centralidade mostra-se importante quando se analisa a questão do processo difusão tecnológica. Os setores são visivelmente periféricos, mas se apresentaram como chave para os processos de difusão que envolvem questões de influência global.

Ao analisar-se comportamento da rede de interações setoriais de 2007 para os diferentes valores de β , a análise apresentou-se plausível para valores entre $\beta = -0,049$ e $\beta = 0,049$, já que o maior autovalor é 20,04 e, assim, $\kappa = 1/v \cong 1/20,04 \cong 0,049$. A Figura 28 apresenta os setores-chave para a difusão de choques de demanda e espalhamento da inflação em 2007:

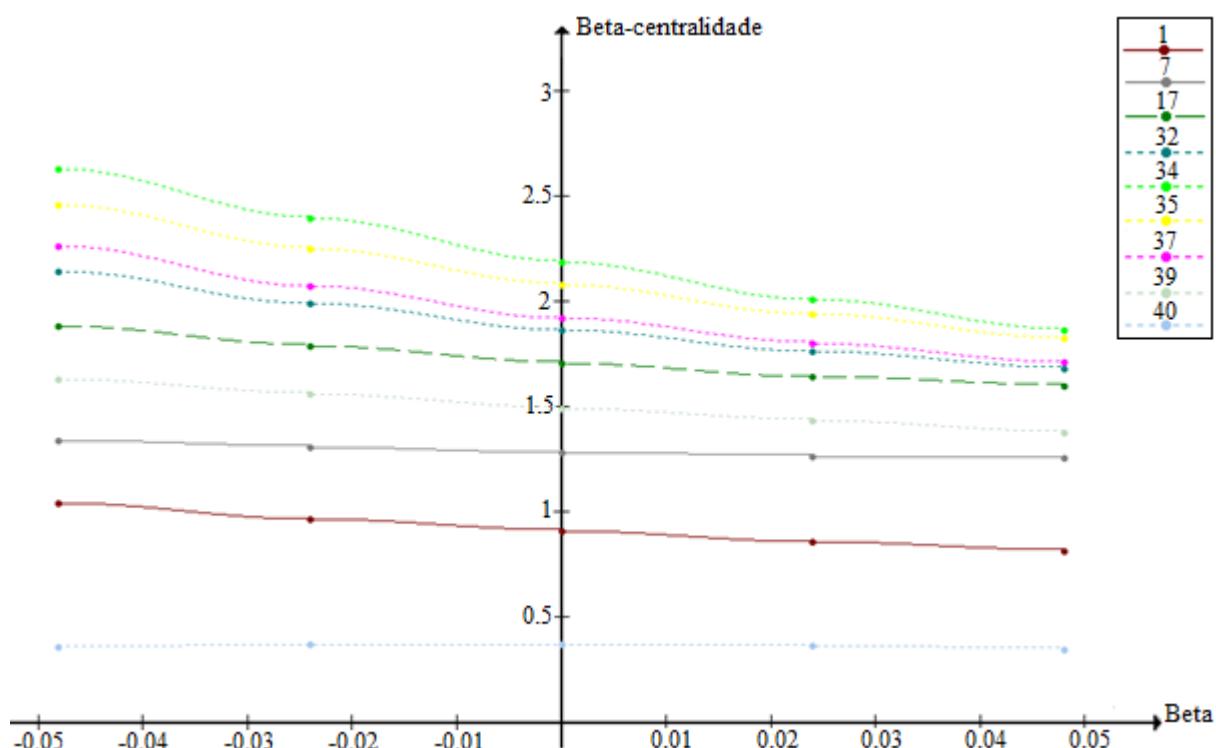


Figura 28 – Beta-centralidade versus β para a rede de 2007: padrão de decrescimento
Fonte: Resultados da pesquisa.

Os setores-chave para os processos de difusão de choques de demanda e de espalhamento da inflação em 2007 são os setores de Agropecuária (1), Fabricação de outros Produtos Metalúrgicos (7), Refino do Petróleo (17), Serviços Industriais de Utilidade Pública (S.I.U.P.) (32), Comércio (34), Transporte (35), Instituições Financeiras (37), Serviços Prestados às Empresas (39), Aluguel de Imóveis (40). Os setores-chave de destaque são quatro: Serviços Industriais de Utilidade Pública (S.I.U.P.) (32), Comércio (34), Transporte (35), Instituições Financeiras (37). Os setores que aparecem em 2007 como importantes para difusão de choques de demanda e o espalhamento da inflação e que não tinham esta característica em 1985 são os setores de Instituições Financeiras (37) e Serviços Privados não Mercantis (42), sendo estes com alta centralidade.

O crescimento da beta-centralidade quando o β aumenta, que evidencia os setores-chave para o processo de difusão tecnológica, são apresentados na Figura 29:

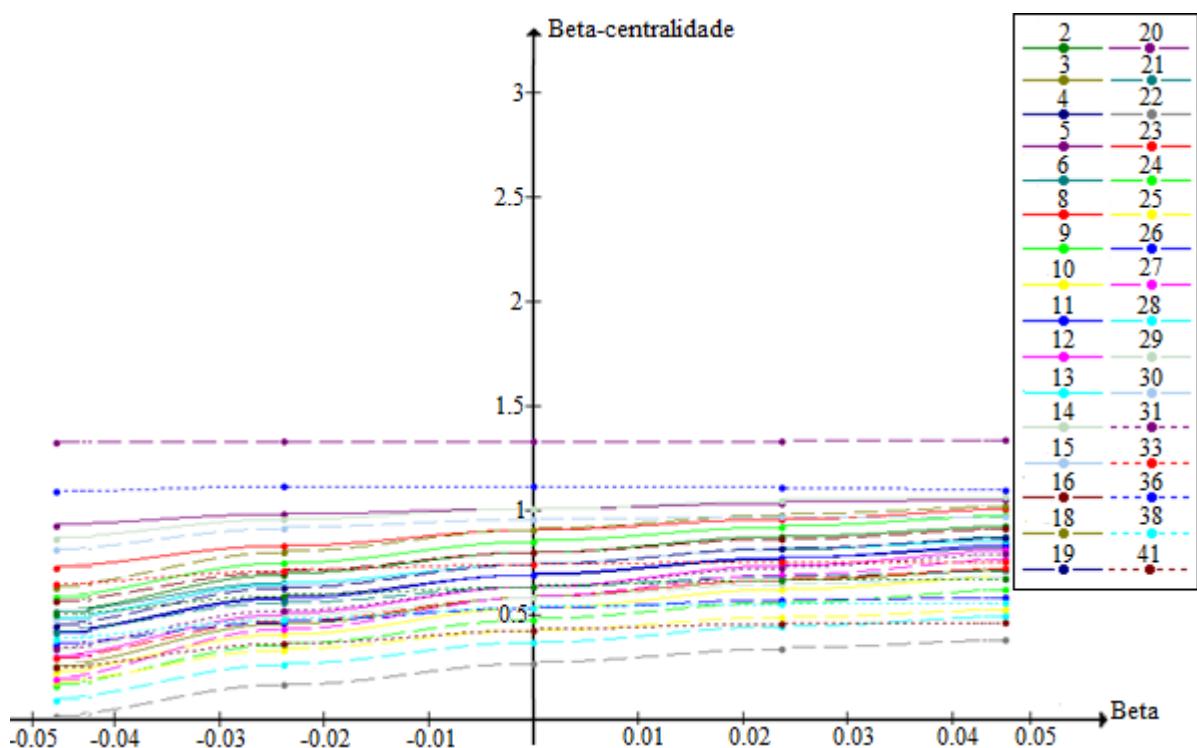


Figura 29 – Beta-centralidade versus β para a rede de 2007: padrão de crescimento
Fonte: Resultados da pesquisa.

Os setores que apresentam padrão de crescimento são Extrativa Mineral (exceto combustíveis) (2), Extração de Petróleo, Carvão e Gás (3), Fabricação de Minerais não Metálicos (4), Siderurgia (5), Metalurgia de Metais não Ferrosos (6), Fabricação e Manutenção de Máquinas e Equipamentos (8), Fabricação de Material Elétrico (9),

Fabricação de Equipamentos Eletrônicos (10), Fabricação de Automóveis, Caminhões e Ônibus (11), Fabricação de Peças e outros Veículos (12), Madeira e Mobiliário (13), Celulose, Papel e Gráfica (14), Indústria da Borracha (15), Fabricação de Elementos Químicos (16), Fabricação de Produtos Químicos Diversos (18), Indústria Farmacêutica e Veterinária (19), Indústria de Artigos de Plástico (20), Indústria Têxtil (21), Fabricação de Artigos do Vestuário (22), Fabricação de Calçados (23), Indústria do Café (24), Beneficiamento de Produtos Vegetais (25), Abate de Animais (26), Indústria de Laticínios (27), Fabricação de Açúcar (28), Fabricação de Óleos Vegetais (29), Fabricação de outros Produtos Alimentares (30), Indústrias Diversas (31), Construção Civil (33), Comunicações (36).

Os setores de maior destaque para a difusão tecnológica são os setores de Indústria de Artigos de Plástico (20), Comunicações (36), Siderurgia (5) e Celulose, Papel e Gráfica (14). Sendo que Indústria de Artigos de Plástico (20), Comunicações (36), Siderurgia (5) passam não se mostravam como relevantes em 1985.

Analizando estes resultados para uma figura semelhante à Figura 22, tem-se a Figura 30:

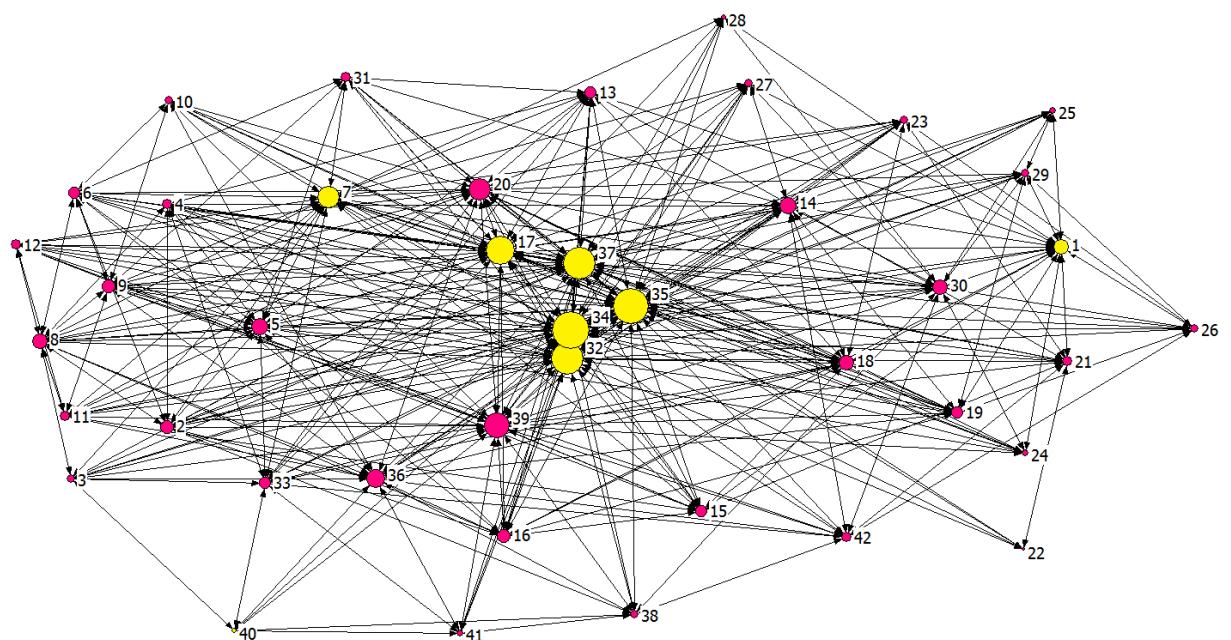


Figura 30 – Rede de interações setoriais de 2007: a beta-centralidade
Fonte: Resultados da pesquisa.

Dos seis setores considerados mais centrais, apenas três são chave para a difusão de choques de demanda e inflação – Instituições Financeiras (37), Refino de Petróleo (17) e Serviços Prestados à Empresa (39). Novamente, um dos setores com menor centralidade,

Aluguel de Imóveis (40), mostrou-se importante para o processo de difusão de inflação e choques de demanda. No que se refere à difusão de tecnologia, nota-se que os setores-chave são bem espalhados na rede.

5 CONCLUSÃO

A maneira como os setores da economia brasileira se relacionam influencia na forma como os processos de difusão se dão nessa economia. Assim, o principal questionamento desta pesquisa foi como a estrutura produtiva brasileira, ou seja, como os encadeamentos setoriais, responde aos diferentes processos de difusão. Os diferentes processos de difusão apontados foram: (i) difusão tecnológica, (ii) espalhamento da inflação, e (iii) choques de demanda.

Partiu-se da hipótese de que movimentos que se iniciam de forma centralizada, dependendo da topologia de rede, podem se espalhar e atingir boa parte da economia. A outra hipótese é que os setores mais importantes para os processos de difusão irão depender do fenômeno a ser analisado. Tendo isto, o objetivo do trabalho foi analisar a estrutura produtiva brasileira utilizando a metodologia de redes e os três processos de difusão supracitados nesta economia.

Ao caracterizar as redes de relações intersetoriais da economia brasileira de 1985 e 2007, identificou-se, a partir da MIP, um padrão de interação de maneira distinta da usual. Ao fazer a análise usual da MIP, com os Índices de Encadeamento e posterior identificação dos setores-chave utilizando a análise de redes, viu-se que a análise de redes propicia resultados diferentes da análise convencional. Enquanto os Índices de Encadeamento indicaram como setores-chave da economia brasileira de 1985 os setores de Agropecuária, Siderurgia e Refino de Petróleo, a análise de redes apontou como principais setores, ou seja, aqueles com maiores ligações com outros setores, os setores de Comércio, Transportes, Refino de Petróleo, Fabricação de outros Metalúrgicos e Fabricação e Manutenção de Máquinas e Equipamentos. No que tange a questão de setores com posições estratégicas para o controle de informações, questão importante para os processos de difusão de inovação, tem-se que os setores-chave seriam os de Comércio e Transporte. Já os setores de maior eficiência, devido a sua localização na estrutura produtiva seriam os setores de Comércio, Transportes e Refino de Petróleo.

Em 2007, com a estrutura da economia brasileira tornando-se mais densa, com mais conexões, os setores-chave apontados pela teoria de redes são os setores de Comércio, Transporte e Refino de Petróleo, tal qual 1985, com o destaque para Instituições Financeiras, Serviços Industriais de Utilidade Pública e Serviços Prestados às Empresas. A análise

convencional de Índices de Encadeamento apontou que os setores-chave seriam os de Agropecuária, Refino de Petróleo e Comércio, resultado significativamente diferente. Dado a mudança da estrutura produtiva brasileira, torna-se plausível a análise de redes, que considera a crescente importância dos setores de Serviços e do setor de Instituições Financeiras. Os setores com posição estratégica para o controle informacional em 2007 foram os mesmos setores-chave; assim, os setores estratégicos em 2007 são os setores com mais ligações. Os setores mais eficientes também foram os mesmos que os setores-chave com o acréscimo da Indústria de Artigos Plásticos.

Dado o aumento das ligações entre os setores de 1985 para 2007, a variância destas conexões também aumentou, fazendo com que o limiar de percolação tenha se tornado menor no último ano analisado. Este resultado sugere que os processos de difusão dão-se de forma mais rápida em 2007 do que se dava em 1985, devido ao aumento de conexões e variabilidade destas. Contudo, presumiu-se que os processos de difusão apresentam particularidades, e assim, partiu-se para a análise dos processos de difusão específicos.

Verificaram-se, ao analisar os três processos de difusão propostos, que os setores-chave mudam quando se analisa cada um dos processos de difusão. Para a difusão de choques de demanda e espalhamento da inflação, em que são considerados os setores com maior centralidade, ou seja, maior poder de influência, a nível local da rede, os setores-chave em 1985 foram principalmente os setores de Comércio e Transporte. Os setores-chave para os processos difusão de choques de demanda e espalhamento da inflação em 2007 são, em especial, os setores de Serviços industriais de utilidade pública, Comércio, Transporte e Instituições Financeiras. Para a difusão tecnológica, considerou-se importante a influência dos setores em âmbito global. Para 1985, os setores-chave de destaque para a propagação destes processos foram os setores de Celulose, Papel e Gráfica e Fabricação de Produtos Químicos Diversos. Em 2007 foram, principalmente, os setores de Indústria de Artigos de Plástico, Comunicações, Siderurgia e Celulose, Papel e Gráfica.

Para a difusão tecnológica, considerou-se importante a influência dos setores em âmbito global, já que estes processos costumam-se dar primeiramente nas cadeias produtivas. Para 1985, os setores-chave para a propagação destes processos foram os setores da Indústria do Café, Beneficiamento de Produtos Vegetais, Abate de Animais e Fabricação de Açúcar. Em 2007 os setores foram, Agropecuária, Siderurgia, Fabricação de outros Produtos Metalúrgicos, Fabricação e Manutenção de Máquinas e Equipamentos, Madeira e Mobiliário, Fabricação

Nota-se a diferença dos setores-chave nos três processos de difusão, tanto para a análise convencional de MIP, como para a análise padrão de setores-chave de rede. Este resultado justifica a análise e sugere que esta metodologia é um bom ponto de partida para os estudos dos processos de difusão em economias. Sabe-se das limitações e simplificações que este estudo foi sujeito, como assumir a rede de relações intersetoriais binária e a determinar um corte de forma arbitrária. Contudo, também se sabe que houve um avanço e uma contribuição tanto para a literatura dos processos de difusão como para análise da MIP, como para a análise de redes, já que poucas aplicações têm sido realizadas na área.

Como estudos posteriores sugerem a elaboração de uma rede e relações intersetoriais de forma mais realista, indo além da relação binária simples. Esta pesquisa também irá se estender no que tange os resultados de análise, procurando compreender as implicações dos seus resultados para a economia brasileira. Analisar-se-á se os resultados encontrados modificam a análise convencional da estrutura produtiva da economia brasileira em 1985 e 2007, os processos de difusão que se deram nestes períodos, bem como a mudança estrutura ocorrida na época.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEMOGLU, D., CARVALHO, V. M., OZDAGLAR, A., & TAHBAZ-SALEHI, A. The network origins of aggregate fluctuations. *Econometrica*, v. 80, n. 5, p. 1977-2016, 2012.
- ACEMOGLU, D.; OZDAGLAR, A.; TAHBAZ-SALEHI, A. *Cascades in networks and aggregate volatility*. Cambridge: National Bureau of Economic Research, Working Paper n. 16516, 2010.
- _____. *The network origins of large economic downturns*. Cambridge: National Bureau of Economic Research, Working Paper n. 19230, 2013.
- ACEMOGLU, D.; OZDAGLAR, A.; YILDIZ, E. Diffusion of innovations in social networks. In: *Decision and Control and European Control Conference (CDC-ECC), 2011 50th IEEE Conference on*. IEEE, 2011, p. 2329-2334.
- ALBERT, R.; BARABÁSI, A. Statistical mechanics of complex networks. *Reviews of modern physics*, v. 74, n. 1, p. 47, 2002.
- ALBERT, R.; JEONG, H.; BARABÁSI, A.L. Error and attack tolerance of complex networks. *Nature*, v. 406, n. 6794, p. 378-382, 2000.
- AOBDIA, D.; CASKEY, J.; OZEL, N. B. *Inter-Industry Network Structure and the Cross-Predictability of Earnings and Stock Returns*. Social Science Research Network (SSRN), working papers series, n. 2196196, 2013. Disponível em: <http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2196196>. Acesso em: 12 dez. 2013.
- BARABÁSI, A. L. *Network Science: Interactive Textbook*. Boston: Center for Complex Network Research, Northeastern University, 2014. Disponível em: <<http://barabasilab.neu.edu/networksciencebook/>>. Acesso em: 03 fev. 2014.
- BARABÁSI, A. L.; ALBERT, R. Emergence of scaling in random networks. *Science*, v. 286, n. 5439, p. 509-512, 1999.
- BARABASI, A. L.; CRANDALL, R. E. *Linked: The new science of networks*. New York: Random House Audio, 2010.
- BARASH, V. The Dynamics of Social Contagion. 2011. 148 f. Tese (Doutorado em Filosofia) – Faculty of the Graduate School of Cornell University, New York, United Stade, 2011.
- BASS, F. M. A new product growth for model consumer durables. *Management Science*, v. 15, n. 5, p. 215-227, 1969.
- _____. The relationship between diffusion rates, experience curves, and demand elasticities for consumer durable technological innovations. *Journal of Business*, p. S51-S67, 1980.

- BEN-AVRAHAM, D; HAVLIN, S. *Diffusion and reactions in fractals and disordered systems*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- BLAU, P. M. A macrosociological theory of social structure. *American Journal of Sociology*, v. 83, n. 1, p. 26-54, 1977.
- BOLLOBÁS, B. *Random Graphs*. London: Academic, 1985.
- BONACICH, Phillip. Power and centrality: A family of measures. *American Journal of Sociology*, p. 1170-1182, 1987.
- BORGATTI, S. P.; EVERETT, M. G.; FREEMAN, L. C. *Ucinet 6 for Windows: Software for Social Network Analysis*. Harvard: Analytic Technologies, 2002.
- BOWERS, R. V. The direction of intra-societal diffusion. *American Sociological Review*, v. 2, n. 6, p. 826-836, 1937.
- BROADBENT, S.R.; HAMMERSLEY, J. M. Percolation processes I: Crystals and mazes. In: *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, p. 41, 1957.
- BROWN, W. J.; BASIL, M. D.; BOCARNEA, M. C. Responding to the death of Princess Diana: Audience involvement with an international celebrity. In: *48th Annual Conference of the International Communication Association*, 1998. p. 20-24.
- BURT, R. S. The social structure of competition. *Networks and organizations: Structure, form, and action*, v. 57, p. 91, 1992.
- CALLAWAY, D. S.; NEWMAN, M. E.; STROGATZ, S. H.; WATTS, D. J. Network robustness and fragility: Percolation on random graphs. *Physical review letters*, v. 85, n. 25, p. 5468, 2000.
- CARLSON, J. M.; DOYLE, J. Highly optimized tolerance: A mechanism for power laws in designed systems. *Physical Review E*, v. 60, n. 2, p. 1412, 1999.
- CARVALHO, V. M. *Aggregate fluctuations and the network structure of intersectoral trade*. Centre de Recerca en Economia Internacional (CREI), Working Paper, 2010.
- CENTOLA, D. The spread of behavior in an online social network experiment. *Science*, v. 329, n. 5996, p. 1194-1197, 2010.
- CENTOLA, D.; EGUILUZ, V. M.; MACY, M. W. Cascade dynamics of complex propagation. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, v. 374, n. 1, p. 449-456, 2007.
- COHEN, J. E. Subadditivity, generalized products of random matrices and operations research. *SIAM review*, v. 30, n. 1, p. 69-86, 1988.
- COLEMAN, J. S.; KATZ, E.; MENZEL, H. *Medical innovation: A diffusion study*. Indianapolis: Bobbs-Merrill Company, 1966.

- COMELLAS, F.; SAMPELS, M. Deterministic small-world networks. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, v. 309, n. 1, p. 231-235, 2002.
- COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (CEPAL). *Cuarto Taller de LA-KLEMS: Primera versión de la base de datos - Cuentas Intersectoriales TIC/No-TIC*. Santiago de Chile: CEPAL, 2011. Disponível em: <<http://www.cepal.org/de/agenda/4/43754/>>. Acesso em: 20 out. 2013.
- DEKIMPE, M. G.; PARKER, P. M.; SARVARY, M. *Multimarket and global diffusion*. Boston: Division of Research, Harvard Business School, 2000.
- DEUTSCHMANN, P. J.; DANIELSON, W. A. Diffusion of knowledge of the major news story. *Journalism & Mass Communication Quarterly*, v. 37, n. 3, p. 345-355, 1960.
- DEUTSCHMANN, P. J.; FALS-BORDA, O. *La comunicación de las ideas entre los campesinos colombianos: un análisis socio-estadístico*. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Sociología, 1962.
- DODDS, P. *Principles of Complex Systems: Course CSYS/MATH 300*. Burlington: Department of Mathematics and Statistics, Center for Complex Systems, Vermont Advanced Computing Center, University of Vermont, 2009. Disponível em: <<http://www.uvm.edu/~pdodds/teaching/courses/2009-08UVM-300/content/lectures.html>>. Acesso em 12 fev. 2014.
- DODDS, P. S.; WATTS, D. J. A generalized model of social and biological contagion. *Journal of Theoretical Biology*, v. 232, n. 4, p. 587-604, 2005.
- DOROGOVSEV, S. N.; MENDES, J. F. F. Evolution of networks. *Advances in physics*, v. 51, n. 4, p. 1079-1187, 2002.
- DURLAUF, S.; YOUNG, H. P. The new social economics. In: DURLAUF, S.; YOUNG, H. P. *Social Dynamics*. Washington: The Brookings Institution, p. 1-14, 2001.
- EASLEY, D.; KLEINBERG, J. *Networks, crowds, and markets*. New York: Cambridge University Press, 2010.
- ERDÖS, P.; RÉNYI, A. On random graphs. *Publicationes Mathematicae Debrecen*, v. 6, p. 290-297, 1959.
- _____. On the evolution of random graphs. *Publications of the Mathematical Institute of the Hungarian Academy of Sciences*, v. 5, p. 17-61, 1960.
- EULER, L. Solutio problematis ad geometriam situs pertinentes. *Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae*, n. 8, p. 128-140, 1736. In: SANDIFER, C. Edward. *The early mathematics of Leonhard Euler*. MAA, 2007.
- FREEDMAN, R.; TAKESHITA, J. Y. *Family planning in Taiwan: An experiment in social change*. Princeton: Princeton U. P., 1969.

- FREEMAN, L. C. Centrality in social networks conceptual clarification. *Social networks*, v. 1, n. 3, p. 215-239, 1979.
- _____. Segregation in social networks. *Sociological Methods & Research*, v. 6, n. 4, p. 411-429, 1978.
- GABAIX, X. The granular origins of aggregate fluctuations. *Econometrica*, v. 79, n. 3, p. 733-772, 2011.
- GHOSH, R.; LERMAN, K. Parameterized centrality metric for network analysis. *Physical Review E*, v. 83, n. 6, p. 066118, 2011.
- GLADWELL, Malcolm. *The Tipping Point: How little things can make a big difference..* Boston: Little Brown and Company, 2000.
- GRANOVETTER, M. The strength of weak ties. *American journal of sociology*, n. 78, v. 6, p. 1360-1380, 1973.
- _____. The strength of weak ties: A network theory revisited. *Sociological theory*, n. 1, v. 1, p. 201-233, 1983.
- _____. Threshold models of collective behavior. *American Journal of Sociology*, v. 83, n. 6, p. 1420, 1978.
- GUILHOTO, J. J. M.; SESSO FILHO, U. A. Estimação da Matriz Insumo-Produto Utilizando Dados Preliminares das Contas Nacionais: Aplicação e Análise de Indicadores Econômicos para o Brasil em 2005. *Economia & Tecnologia*, v. 23, p.53-62, 2010.
- _____. Estimação da Matriz Insumo-Produto a Partir de Dados Preliminares das Contas Nacionais. *Economia Aplicada*, v. 9, n. 2, p. 277-299, 2005.
- HAMMERSLEY, J. M. Percolation processes II: The connective constant. In: *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, p. 642-645, 1957.
- HARRIGAN, N.; ACHANANUPARP, P.; LIM, E. Influentials, novelty, and social contagion – the viral power of average friends, close communities, and old news. *Social Networks*, 34: 470-480, 2012.
- HAYES, B. Graph theory in practice: Part II. *American Scientist*, v. 88, n. 2, p. 104-109, 2000.
- HIRSHMAN, A. O. *The Strategy of Economic Development*. New Haven, CT: Yale University Press, 1958.
- HOPKINS, B.; WILSON, R. J. The Truth about K6nigsberg. *The College Mathematics Journal*, v. 35, n. 3, p. 198-207, 2004.
- HU, H. B.; WANG, X. F. Disassortative mixing in online social networks. *EPL (Europhysics Letters)*, v. 86, n. 1, p. 18003-p1-18003p-6, 2009.

- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Sistemas de Contas Nacionais: Matriz Insumo-Produto Brasil 2000/2005*. Rio de Janeiro: IBGE, 2008. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/matrizinsumo_produto/publicacao.pdf>. Acesso em: 12 set. 2013.
- _____. *Sistemas de Contas Nacionais: Matriz Insumo-Produto Brasil 1985*. Rio de Janeiro: IBGE, 1995. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Contas_Nacionais/Matriz_de_Insumo_Produto/1985/>. Acesso em: 12 set. 2013.
- JACKSON, M. O. *Social and economic networks*. Princeton and Oxford: Princeton University Press, 2008.
- JACKSON, M. O.; ROGERS, B. W. The economics of small worlds. *Journal of the European Economic Association*, v. 3, n. 2-3, p. 617-627, 2005.
- KAROŃSKI, M.; RUCIŃSKI, A. The origins of the theory of random graphs. In: *The Mathematics of Paul Erdős I*. Springer Berlin Heidelberg, p. 311-336, 1997.
- KLEINBERG, J. Cascading behavior in networks: Algorithmic and economic issues. *Algorithmic game theory*, v. 24, p. 613-632, 2007.
- KUHN, T. S. The structure of scientific revolutions. 4 ed. Chicago: University of Chicago Press, 2012.
- MAHAJAN, V.; PETERSON, R. A. (Ed.). *Models for innovation diffusion*. Thousand Oaks: Sage, 1985.
- MARTINS, M. M. *Grau de interdependência e setores-chave da economia brasileira contemporânea: um estudo fundamentado na análise de redes*. 2009. 90 f. Tese (Doutorado em Economia) - Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, Brasil, 2009.
- MCPHERSON, J. M.; SMITH-LOVIN, L. Homophily in voluntary organizations: Status distance and the composition of face-to-face groups. *American Sociological Review*, v. 52, n. 3, 1987.
- MCPHERSON, J. M.; SMITH-LOVIN, L.; COOK, J. M. Birds of a feather: Homophily in social networks. *Annual Review of Sociology*, v. 27, p. 415-444, 2001.
- MILGRAM, S. The small world problem. *Psychology today*, v. 2, n. 1, p. 60-67, 1967.
- MONTANARI, A.; SABERI, A. The spread of innovations in social networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 107, n. 47, p. 20196-20201, 2010.
- NEWMAN, M. E. J. Assortative mixing in networks. *Physical Review Letters*, v. 89, n. 20, p. 208701, 2002.
- _____. Mixing patterns in networks. *Physical Review E*, v. 67, n. 2, p. 026126, 2003a.

- _____. Models of the small world. *Journal of Statistical Physics*, v. 101, n. 3-4, p. 819-841, 2000.
- _____. *Networks, an introduction*. Oxford: Oxford University Press, 2012.
- _____. The structure and function of complex networks. *SIAM Review*, v. 45, n. 2, p. 167-256, 2003b.
- NEWMAN, M. E. J.; WATTS, D. J.; STROGATZ, S. H. Random graph models of social networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 99, n. 1, p. 2566-2572, 2002.
- PAGE, L.; BRIN, S.; MOTWANI, R.; WINOGRAD, T. The PageRank citation algorithm: bringing order to the web. *Stanford Digital Library Technologies Project*. technical report, 1998.
- PELTO, P. J. *The snowmobile revolution: technology and social change in the Arctic*. Menlo Park: Cummings Publishing Company, 1973.
- PIRAVEENAN, M.; PROKOPENKO, M.; ZOMAYA, A. Y. Assortative mixing in directed biological networks. *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics*, v. 9, n. 1, p. 66-78, 2012.
- _____. Classifying Complex Networks using Unbiased Local Assortativity. In.: *Artificial Life XII: The 12th International Conference on the Synthesis and Simulation of Living Systemsp*, University of Southern Denmark, Odense, 2010, p. 329-336, 2010. Disponível em: <<http://18.7.25.65/sites/default/files/titles/alife/0262290758chap61.pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2014.
- PRELL, C. *Social network analysis: History, theory and methodology*. Washington: Sage, 2011.
- RAHIM, S. A. The diffusion and adoption of agricultural practices: A study in a village in East Pakistan. *Comilla: East Pakistan Academy of Village Development*, 1961.
- RASMUSSEN, P. N. *Studies in inter-sectoral relations*. Amsterdam: North-Holland, 1956.
- RIBBE, W.; ROSENBAUER, H. *Preussen: Chronik eines deutschen Staates*. Nicolai, 2001. Disponível em: <http://www.preussenchronik.de/bild_jsp/key=bild_kathe2.html>. Acesso em: 22 jan. 2014.
- RODAN, S. Choosing the “ β ” parameter when using the Bonacich power measure. *Journal of Social Structure*, v. 12, n. 4, 2011.
- ROGERS, E. M. *Diffusion of innovations*. 5 ed. New York: Free Press, 2003.
- ROGERS, E. M.; SINGHAL, A.; QUINLAN, M. M. Diffusion of Innovations. In: STACKS, Don W.; SALWEN, Michael B. (Ed.). *An integrated approach to communication theory and research*. 2 ed. New York: Routledge, 2010, cap. 27, p. 418-434.

- RYAN, B.; GROSS, N. C. The diffusion of hybrid seed corn in two Iowa communities. *Rural sociology*, v. 8, n. 1, p. 15-24, 1943.
- SHERMESH, S.; TELLIS, G. The international takeoff of new products: The role of economics and culture. *Marketing Science*, v. 22, n. 2, p. 188–208, 2003.
- SINGHAL, A. ROGERS, E. M. *Combating AIDS: Communication strategies in action*. New York: Sage Pub., 2003.
- STAUFFER, D.; AHARONY, A. *Introduction to percolation theory*. [1848]. London: Taylor-Francis, 1992.
- STERMAN, J. D. *Business dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. New York: McGraw-Hill, 2000.
- STEVENSON, W. B.; GREENBERG, D. Agency and social networks: Strategies of action in a social structure of position, opposition, and opportunity. *Administrative Science Quarterly*, v. 45, n. 4, p. 651-678, 2000.
- TARDE, G. *The Laws of Imitation*. Tradução de Elsie Worthington Clews Parson. New York: H. Holt and Company, 1903. Disponível em: <<https://archive.org/details/lawsofimitation00tard>>. Acesso em: 12 jan. 2014.
- TUTZAUER, F.; KNON, K.; ELBIRT, B. Network diffusion of two competing ideas. In: VISHWANATH, A.; BARNETT, G. (Ed.) *The diffusion of innovations: a communication science perspective*. New York: Peter Lang, 2011, cap. 7, p. 145-169.
- VALENTE, T. W. Network models and methods for studying the diffusion of innovations. *Models and methods in social network analysis*, p. 98-116, 2005.
- VALENTE, T. W. Social network thresholds in the diffusion of innovations. *Social networks*, v. 18, n. 1, p. 69-89, 1996.
- WANG, X. F.; CHEN, G.. Complex networks: small-world, scale-free and beyond. *Circuits and Systems Magazine*, IEEE, v. 3, n. 1, p. 6-20, 2003.
- WATTS, D. J. A simple model of global cascades on random networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 99, n. 9, p. 5766-5771, 2002.
- _____. Networks, dynamics, and the small-world phenomenon. *American Journal of Sociology*, v. 105, n. 2, p. 493-527, 1999.
- _____. The “new” science of networks. *Annual review of sociology*, p. 243-270, 2004.
- WATTS, D. J.; DODDS, P. S. Influentials, networks, and public opinion formation. *Journal of consumer research*, v. 34, n. 4, p. 441-458, 2007.
- _____. Threshold Models of Social Influence. In: HEDSTRÖM P., BEARMAN P. *The Oxford Handbook of Analytical Sociology*. Oxford: Oxford University Press, p. 475-497, 2009.

- WATTS, D. J.; STROGATZ, S. H. Collective dynamics of “small-world” networks. *Nature*, v. 393, n. 6684, p. 440-442, 1998.
- WELLIN, E. Water boiling in a Peruvian town. *Health, culture and community*, p. 71-103, 1955.
- WISSLER, C. *Man and culture*. (1923). Whitefish: Kessinger Publishing, 2004.
- YILDIZ, E.; ACEMOGLU, D.; OZDAGLAR, A.; SCAGLIONE, A. Diffusions of innovations on deterministic topologies. In: *Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2011 IEEE International Conference on*. IEEE, 2011. p. 5800-5803.
- ZACHARY, W. An Information Flow Model for Conflict and Fission in Small Groups. *Journal of anthropological research*, v. 33, n. 4, p. 452-473, 1977.
- ZEPPINI, P.; FRENKEN, K.; IZQUIERDO, L. R. *Innovation diffusion in networks: the microeconomics of percolation*. Eindhoven Center for Innovation Studies (ECIS), working paper series, 13-02, 2013

ANEXO

Anexo A

Principais tradições de pesquisa de difusão

ÁREA DE PESQUISA	PRINCIPAIS ESTUDOS	ESTUDOS TÍPICOS DE INOVAÇÃO	MÉTODO DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS	UNIDADE PRINCIPAL DE ANÁLISE	PRINCIPAIS RESULTADOS
ANTROPOLOGIA	<p>Wissler (2004 [1923]): difusão de cavalos de exploradores espanhóis para tribos indígenas norte-americanas; Wellin (1955): estudo etnográfico de uma intervenção bem-intencionada de saúde pública para as mulheres na zona rural da cidade peruana de Los Molinas ferverem a água; Pelto (1973): consequências da moto de neve para os <i>Skolt Lapps</i> no norte da Finlândia.</p>	<p>Ideias tecnológicas (machado de aço, cavalo, ebullição da água).</p>	<p>Observações participantes não participantes; abordagem de estudo de caso.</p>	<p>Tribos e aldeias campesinas.</p>	<p>Consequências das inovações; relativo sucesso de agentes de mudança.</p>
SOCIOLOGIA PRECOCE	<p>Tarde (1903): processos imitativos em sociedade; Bowers (1937): difusão dos aparelhos de radioamador.</p>	<p>Gestão de governo municipal; selos postais; rádios amadoras.</p>	<p>Os dados de fontes secundárias e análise estatística.</p>	<p>Comunidades ou indivíduos.</p>	<p>Distribuição de adotantes em forma de S; características das categorias de adoção.</p>

	<p>Ryan e Gross (1943): difusão das sementes de milho híbrido; Rahim (1961): Ideias essencialmente agrícolas (herbicidas, sementes híbridas, fertilizantes).</p>	Entrevistas análise estatística.	e Agricultores individuais em comunidades rurais.	Distribuição de adotantes em forma de S; características das categorias de adoção; atributos da inovações e sua taxa de adoção percebida; canais de comunicação por fases do processo de decisão da inovação; características dos líderes de opinião.
SAÚDE PÚBLICA E SOCIOLOGIA MÉDICA	<p>Deutschmann e Danielson (1960): processo de difusão e diferenças nas funções dos meios comunicação; Brown, Basil e Bocarnea (1998): propagação da notícia da morte da Princesa Diana;</p> <p>Coleman, Katz e Menzel (1966): difusão de tetraciclina; Freedman e Takeshita (1969): planejamento familiar no Taiwan; Singhal e Rogers (2003): difusão da prevenção do HIV/AIDS.</p>	Eventos noticiosos, inovações tecnológicas.	e Indivíduos ou organizações.	Canais de comunicação por fases do processo de decisão da inovação; características das categorias de adoção; líderes de opinião; redes de difusão.
MARKETING	<p>Bass (1969): taxa de adoção de um novo produto; Dekimpe, Parker e Sarvary (2000): difusão de novos produtos e serviços envolvendo firmas multinacionais; Shermesh e Tellis (2003): diferença da difusão de novos produtos entre os países.</p>	<p>Ideias médicas e de saúde (medicamentos, vacinas, métodos de planejamento familiar, tomografia computadorizada).</p> <p>Novos produtos (uma marca de café, o telefone de discagem por tom, modas de vestuário).</p>	<p>e Indivíduos ou organizações, como hospitais.</p> <p>e Consumidores individuais.</p>	<p>Conclusões sobre liderança de difusão; características das categorias de adoção; canais de comunicação por fases do processo de decisão da inovação.</p> <p>Características das categorias de adoção; líderes de opinião na difusão.</p>

Fonte: Elaboração própria, baseado em ROGERS, 2003, p. 44-45.

Anexo B

Os 42 Setores da economia brasileira e sua descrição

CÓDIGO	SETORES	DESCRIÇÃO
1	AGROPECUÁRIA	Cultivo de cereais para grãos; cultivo de cana-de-açúcar; cultivo de soja; cultivo de cereais para grãos; cultivos outros produtos de lavouras temporárias, horticultura, viveiros e serviços relacionados; cultivo de frutas cítricas; cultivo de café; cultivo de outros produtos de lavoura permanente; criação de bovinos e outros animais; criação de suínos; criação de aves; silvicultura, exploração vegetal e serviços relacionados; agropecuária; pesca, aquicultura e serviços relacionados.
2	EXTRATIVA MINERAL (EXCETO COMBUSTÍVEIS)	Extração de minerais metálicos e não metálicos.
3	EXTRAÇÃO DE PETRÓLEO, CARVÃO E GÁS	Extração de petróleo, de carvão mineral e gás.
4	FAB. DE MINERAIS NÃO METÁLICOS	Fabricação de cimento; fabricação de estruturas de cimento; fabricação de vidro; fabricação de minerais não metálicos.
5	SIDERURGIA	Siderurgia.
6	METALURGIA DE METAIS NÃO FERROSOS	Metalurgia de não ferrosos.
7	FAB. DE OUTROS PRODUTOS METALÚRGICOS	Fundidos e forjados de aço; fabricação de outros metalúrgicos.
8	FAB. E MANUTENÇÃO DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS	Fabricação de máquinas inclusive peças; fabricação de tratores e máquinas rodoviárias; manutenção e reparação de máquinas.
9	FAB. DE MATERIAL ELÉTRICO	Fabricação de equipamentos de energia elétrica; fabricação de material elétrico; fabricação de aparelhos eletrodomésticos.
10	FAB. DE EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS	Fabricação de aparelhos eletrônicos; fabricação de TV, rádio e som.
11	FAB. DE AUTOMÓVEIS, CAMINHÕES E ÔNIBUS	Fabricação de automóveis, caminhões e ônibus.
12	FAB. DE PEÇAS E OUTROS VEÍCULOS	Fabricação de peças e outros veículos; indústria naval; fabricação de veículos ferroviários; fabricação de outros veículos.
13	MADEIRA E MOBILIÁRIO	Indústria da madeira; indústria do mobiliário.
14	CELULOSE, PAPEL E GRÁFICA	Fabricação de celulose; fabricação de papel e artefatos; editorial e gráfica.
15	INDÚSTRIA DA BORRACHA	Indústria da borracha.
16	FAB. ELEMENTOS QUÍMICOS	Elementos químicos e destilação do álcool.
17	REFINO DO PETRÓLEO	Refino de petróleo, petroquímica; fabricação de resinas e fibras.
18	FAB. DE PRODUTOS QUÍMICOS DIVERSOS	Fabricação de adubos e fertilizantes; fabricação de produtos químicos diversos.
19	INDÚSTRIA FARMACÊUTICA E VETERINÁRIA	Indústria farmacêutica; indústria veterinária.
20	INDÚSTRIA DE ARTIGOS DE PLÁSTICO	Fabricação de laminados e plásticos.; fabricação de artigos de plástico.
21	INDÚSTRIA TÊXTIL	Fiação de tecidos e fibras naturais; fiação de tecidos e fibras artificiais e sintéticas; outras indústrias têxteis.
22	FAB. DE ARTIGOS DO VESTUÁRIO	Fabricação de artigos do vestuário.

23	FAB. DE CALÇADOS	Indústria de couros e peles; fabricação de calçados.
24	INDÚSTRIA DO CAFÉ	Indústria do café.
25	BENEFICIAMENTO DE PRODUTOS VEGETAIS	Beneficiamento de arroz; moagem de trigo; preparação de conservas e sucos; beneficiamento de produtos vegetais; indústria do fumo.
26	ABATE DE ANIMAIS	Abate e preparação de carne; abate e preparação de aves.
27	INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS	Indústria de laticínios.
28	FAB. DE AÇÚCAR	Indústria do açúcar.
29	FAB. DE ÓLEOS VEGETAIS	Fabricação de óleos vegetais em bruto; refino de óleos vegetais.
30	FAB. DE OUTROS PRODUTOS ALIMENTARES	Fabricação de rações; outras indústrias alimentares; indústria de bebidas.
31	INDÚSTRIAS DIVERSAS	Fabricação de produtos diversos; reciclagem de sucatas; fabricação de aparelhos para o uso médico-hospitalar e odontológico; fabricação de aparelhos de medida, teste e controle; fabricação de aparelhos e material óptico e fotográfico.
32	SERVIÇOS INDUSTRIALIS DE UTILIDADE PÚBLICA (S.I.U.P.)	Captação, tratamento e distribuição de água; produção e distribuição de energia elétrica; produção, distribuição e medição de gás encanado; limpeza urbana.
33	CONSTRUÇÃO CIVIL	Construção civil.
34	COMÉRCIO	Comércio
35	TRANSPORTE	Transporte rodoviário; transporte ferroviário; transporte hidroviário; transporte aéreo.
36	COMUNICAÇÕES	Comunicações.
37	INSTITUIÇÕES FINANCEIRAS	Instituições de seguros; instituições financeiras.
38	SERVIÇOS PRESTADOS ÀS FAMÍLIAS	Serviços de alojamento; serviços de alimentação; atividades recreativas, culturais e desportivas; serviços pessoais; atividades de atendimento hospitalar; outras atividades relacionadas com atenção à saúde; Serviços de reparação de objetos pessoais e domésticos; Serviços cinematográficos e de vídeo; atividades de investigação, vigilância e segurança; atividade de imunização, higienização e limpeza de prédios e domicílios; educação mercantil; serviços sociais privados.
39	SERVIÇOS PRESTADOS ÀS EMPRESAS	Serviços prestados às empresas; aluguel de bens móveis.
40	ALUGUEL DE IMÓVEIS	Aluguel de imóveis
41	ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA	Educação pública; saúde pública; administração pública e segurança social.
42	SERVIÇOS PRIVADOS NÃO MERCANTIS	Atividades associativas; serviços domésticos; pesquisa e desenvolvimento.

Fonte: Elaboração própria, baseado em IBGE (1995); GUILHOTO; SESSO FILHO (2005; 2010); CEPAL (2011).