

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ARTES, CIÊNCIAS E HUMANIDADES  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELAGEM DE SISTEMAS COMPLEXOS

LUÍSA JACCOUD DE OLIVEIRA

**Dinâmica de retroalimentação entre o PIB das Unidades Federativas e a topologia do comércio doméstico brasileiro.**

São Paulo

2022

LUÍSA JACCOUD DE OLIVEIRA

**Dinâmica de retroalimentação entre o PIB das Unidades Federativas e a topologia do comércio doméstico brasileiro.**

Versão corrigida

Texto de Dissertação apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências pelo Programa de Pós-graduação em Modelagem de Sistemas Complexos.

Área de Concentração:

Modelagem de Sistemas Complexos.

Orientador:

Prof. Dr. Silvio Yoshio Mizuguchi Miyazaki

Coorientador:

Prof. Dr. Fernando Fagundes Ferreira

São Paulo

2022

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Escola de Artes, Ciências e Humanidades,  
com os dados inseridos pelo(a) autor(a)  
Brenda Fontes Malheiros de Castro CRB 8-7012; Sandra Tokarevicz CRB 8-4936

Jaccoud de Oliveira, Luísa  
Dinâmica de retroalimentação entre o PIB das  
Unidades Federativas e a topologia do comércio  
doméstico brasileiro. / Luísa Jaccoud de Oliveira;  
orientador, Silvio Yoshiro Mizuguchi Miyazaki;  
coorientador, Fernando Fagundes Ferreira. -- São  
Paulo, 2022.  
54 p: il.

Dissertacao (Mestrado em Ciencias) - Programa de  
Pós-Graduação em Modelagem de Sistemas Complexos,  
Escola de Artes, Ciências e Humanidades,  
Universidade de São Paulo, 2022.  
Versão corrigida

1. Sistemas Complexos. 2. Economia Regional. 3.  
Teoria dos Grafos. 4. Networks. 5. Balança Comercial  
Interestadual Brasileira. 6. Modelo Fitness. I.  
Miyazaki, Silvio Yoshiro Mizuguchi, orient. II.  
Ferreira, Fernando Fagundes, coorient. III. Título.

## AGRADECIMENTOS

À minha família pelo suporte durante não somente este ciclo, mas ao longo de toda minha formação acadêmica. A disponibilidade de múltiplos recursos físicos, financeiros e emocionais são alguns fatores que permitiram a minha dedicação e este é um cenário de privilégio diante à realidade brasileira.

À minha grande amiga Amanda Roza, que sempre me apoiou em dias difíceis, especialmente durante o atravessamento da Pandemia da COVID-19. Aos meus colegas Felipe e Ângelo, por me proporcionarem vivências enriquecedoras na USP. Aos meus grandes amigos Felipe Paradas e em especial ao André Luchine, pelos momentos de encorajamento, pelos inumeráveis ensinamentos técnicos em linguagem de programação e às boas risadas durante todos esses anos.

Ao Prof. Dr. Silvio, pelo encorajamento contínuo e pelos múltiplos ensinamentos durante o processo de orientação e o estágio PAE – momento que tive a honra de ser sua professora assistente. Agradeço a contribuindo para meu crescimento acadêmico e docente.

Ao Prof. Dr. Fernando, pelo suporte metodológico durante o processo final da pesquisa, contribuindo para meu crescimento intelectual.

Ao corpo docente do Programa de Mestrado em Modelagem de Sistemas Complexos, pela grandiosidade e diversidade de pensamentos teóricos e metodológicos à disposição dos discentes.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de Bolsa de Pesquisa, incentivando a Ciência brasileira especialmente em anos de negacionismo e sucateamento das Universidades brasileiras.

## RESUMO

OLIVEIRA, Luísa Jaccoud de. **Dinâmica de retroalimentação entre o PIB das Unidades Federativas e a topologia do comércio doméstico brasileiro**. 2022. 54p. Dissertação (Mestrado em Modelagem de Sistemas Complexos) – Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022. Versão original.

O campo de estudo de Sistemas Complexos parte de uma série de conceitos fundamentais como Emergência, auto-organização e retroalimentação. O poder explicativo dessa modelagem vem revolucionando muitas áreas do conhecimento, como é o caso da Ciência Econômica. A partir da utilização do Modelo *Fitness*, esta dissertação se propõe a compreender a dinâmica do comércio interestadual brasileiro, explorando a conectividade das Unidades Federativas (UF) do Brasil. Até meados da década de 1970, a Economia Brasileira caracterizava-se como pouco integrada, mas uma série de políticas de desenvolvimento econômico contribuiu, gradualmente, para a construção de um Brasil com conectividade comercial total. Atualmente, a rede de comércio interestadual brasileira é um grafo completo. Entretanto, concentração de renda e industrial em certas localidades influencia a dinâmica de compra e venda entre as UF – gerando clusters. Esta pesquisa estuda a relação entre a topologia da Balança Comercial Interestadual Brasileira (BCIB) e o PIB das UF, como sinalização desta dinâmica. Para tal, avaliamos três métricas topológicas para a rede: a distribuição acumulada de grau ( $P > k$ ), o grau médio do vizinho próximo ( $\tilde{K}_i^{nn}$ ) e o coeficiente de cluster ( $\tilde{C}_l$ ). Essas métricas são calculadas para os dados de comércio doméstico observados no ano de 2017 e, em paralelo, é construída uma modelagem preditiva destas mesmas três métricas em função de um valor fitness, atribuído intrinsecamente a cada vértice-UF (o PIB das UF). Os resultados da pesquisa apontam que a modelagem tem um poder explicativo parcial quanto à dinâmica de compra e venda entre os Estados e o Distrito Federal. Os valores esperados previstos pela modelagem são majoritariamente subestimados quando comparados com os valores observados, entretanto, o formato das funções são similares para as duas categorias avaliadas. Além disso, alguns dos resultados para o caso do Brasil mostraram-se similares aos resultados para o caso da rede de Comércio Internacional – estudo realizado por Garlashedi e Loffredo (2005). Ambas redes apresentam propriedades similares de dissassortatividade e hierarquia.

Palavras-chave: Sistemas Complexos. Economia Regional. Teoria dos Grafos. Networks. Balança Comercial Interestadual Brasileira. Modelo Fitness.

## ABSTRACT

OLIVEIRA, Luísa Jaccoud de. **Feedback loop dynamics between the Federative Unit's GDP and the topology of Brazilian Domestic Trade**. 2022. 54p. Dissertation (Master of Science) – School of Arts, Sciences and Humanities, University of São Paulo, São Paulo, 2022. Original version.

The field of study of Complex Systems is based on a series of fundamental concepts such as Emergency, self-organization and feedback loop. The explanatory power of this modeling has revolutionized many areas of knowledge, such as Economic Science. Using the Network Fitness Model, this thesis proposes to understand the dynamics of Brazilian interstate commerce, exploring the connectivity of the Federal Units (FU) of Brazil. Before the 70s, the Brazilian Economy characterized as poorly integrated, but a series of economic development policies gradually contributed to the construction of a Brazil with full trade connectivity. Today, the Brazilian Interstate Trade Network is a complete graph. However, concentration of income and industry in certain localities influences the buying and selling dynamics between FUs – generating clusters. This research studies the relationship between the topology of the Brazilian Interstate Trade Balance (BITB) and the FU's GDP, as a signalling of this dynamic. To this end, we evaluate three topological metrics for the network: the cumulative degree distribution ( $P > k$ ), the average neighbour Degree ( $\tilde{K}_i^{nn}$ ) and the cluster coefficient ( $\tilde{C}_1$ ). These metrics are calculated for observed domestic trade data in the year 2017, and in parallel, predictive modeling of these same three metrics is built as a function of a fitness value, intrinsically assigned to each vertex-FU (the FU's GDP). The research results point out that the modeling has a partial explanatory power regarding the buying and selling dynamics between the States and Federal District. The expected values predicted by the modeling are mostly underestimated when compared to the observed values, however, the shape of the functions are similar for the two categories evaluated. Furthermore, some results for the Brazilian case were similar to the results for the World Trade Web case – a paper by Garlashelli e Loffredo (2005). Both networks present similar dissassortativity and hierarchy properties.

Keywords: Complex Systems. Regional Economic. Graph Theory. Networks. Brazilian Interstate Trade Balance. Network Fitness Model.

# SUMÁRIO

<b>Introdução .....</b>	<b>7</b>
1.1. A modelagem de Sistemas Complexos.....	7
1.2. Objetivos Gerais e Específicos .....	9
<b>Referencial Teórico.....</b>	<b>11</b>
2.1. Sistemas Complexos .....	11
2.2. Economia Internacional como um Sistema Complexo .....	13
2.3. Economia Regional .....	19
<b>Metodologias .....</b>	<b>23</b>
3.1. Modelo de codependência de Garlaschelli e Loffredo (2005).....	23
3.2. O Modelo Fitness.....	28
3.3. Base de Dados.....	31
3.4. A Balança Comercial Interestadual Brasileira (BCIB) .....	32
<b>Resultados e discussão.....</b>	<b>47</b>
4.1. Resultados.....	47
4.2. Discussão .....	49
<b>Conclusão .....</b>	<b>51</b>
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>52</b>

# *Capítulo 1*

## *Introdução*

### **1.1. A modelagem de Sistemas Complexos**

A modelagem de Sistemas Complexos é um ferramental pioneiro com grande poder informacional, capaz de trazer diferentes contribuições a partir da exploração de fenômenos ainda não completamente compreendidos em uma gama multidisciplinar – especialmente nas Ciências Sociais.

De acordo com Mitchell (2009: 3, 4 e 5) o campo de estudo de Sistemas Complexos tem por enfoque o entendimento de como um número de entidades relativamente simples se auto organizam e, sem um controlador central, formam um sistema coletivo que cria padrões, utiliza informações e, em alguns casos, aprende e evolui. O conceito de Emergência não é definido de forma consensual pelos estudiosos do campo, mas Mitchell define como um fenômeno macroscópico de difícil predição que é originado por regras simples individuais.

Sayama (2015: 5) afirma que a temática de Sistemas Complexos se ramifica em múltiplos campos, como Sistemas Dinâmicos não lineares, Teoria de Sistemas, Teoria de Jogos, Formação de Padrões, Evolução e Adaptação, Comportamento Coletivo e Teoria de Redes. O autor afirma que todos esses campos apresentam dois conceitos teóricos centrais em comum: a Emergência (atuando em nível de escala) e a Auto-organização (atuando em temporalidade).



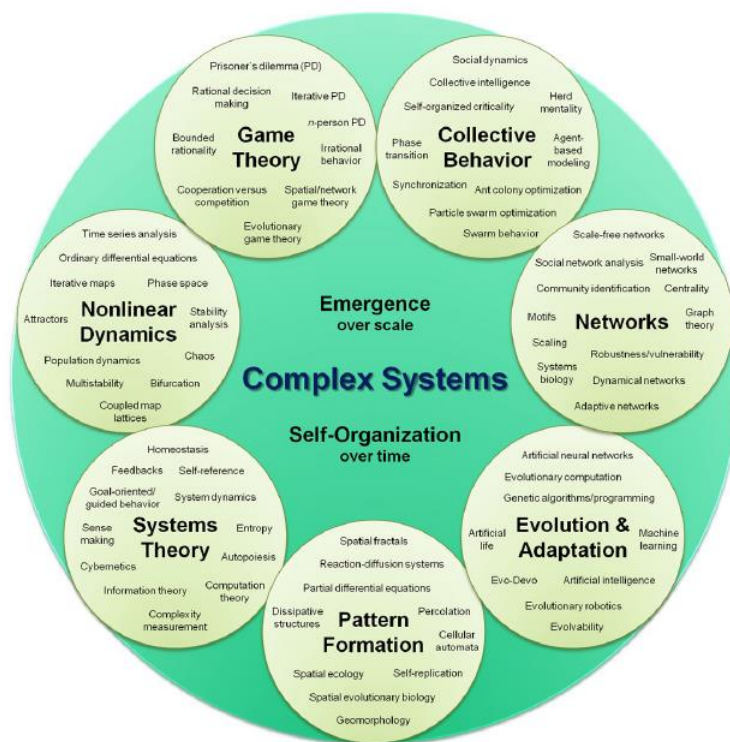


Figura 1 - Sayama (2015: 5)

A presente pesquisa encontra-se no campo de Teoria de Redes (*Networks*), debruçando-se na dinâmica de retroalimentação entre variáveis e seus efeitos. O propósito desta dissertação é contribuir com a área de Economia Regional sob uma ótica de Sistemas Complexos, investigando a presença de retroalimentação e compreendendo suas propriedades a partir de uma ótica não reducionista.

Mais especificamente, pretende-se investigar as propriedades dinâmicas da rede de comércio interestadual brasileiro e os possíveis desdobramentos desta investigação. Haveria uma retroalimentação entre o tamanho de cada Unidade Federativa (em termos de PIB Estadual) e a dinâmica de compra e venda entre estas mesmas UF (em termos da topologia desta rede)?

O segundo capítulo apresentará o referencial teórico a ser utilizado e é classificado em três subseções: 2.1. Sistemas Complexos e seus conceitos básicos; 2.2. Economia Internacional como um Sistema Complexo e 2.3. Economia Regional brasileira. O capítulo 3 abordará as metodologias a serem utilizadas para responder a pergunta de pesquisa e também será seccionado em quatro. A seção 3.1. abordará o método central explorado, de Garlaschelli e Loffredo (2005); 3.2. O modelo Fitness; 3.3. A Base de Dados tratará sobre as características dos dados a serem utilizados e, por fim, a seção 3.4. tratará sobre a aplicação da referida teoria na Balança Comercial Interestadual Brasileira (BCIB). No capítulo 4 serão apresentados os

resultados e discussões e, em suma, a dissertação será finalizada com a conclusão no capítulo 6, seguido das referências bibliográficas utilizadas na pesquisa.

## 1.2. Objetivos Gerais e Específicos

A principal referência deste trabalho é Garlaschelli e Loffredo (2005) e sua contribuição com o estudo das propriedades topológicas da rede de Comércio Internacional (*World Trade Web* – WTW), estruturado a partir de uma abordagem evolucionista. A topologia da rede global é associada com os Produtos Internos Brutos dos países que a compõem a partir da utilização do Modelo Fitness.

O objetivo geral do presente trabalho é e testar a hipótese de que há relação de retroalimentação entre a topologia da rede de comércio doméstico brasileiro e o tamanho de seus vértices-UF, aplicando o método de Garlaschelli e Loffredo (2005) – aplicada originalmente para a rede de Comércio Internacional.

Como objetivo específico, pretende-se comparar a estrutura topológica da Balança Comercial Interestadual Brasileira (BCIB) com a participação das UF no PIB do Brasil, além de identificar as diferenças e similaridades com as características da rede de Comércio Internacional – apresentadas por Garlaschelli e Loffredo (2005). As três métricas topológicas utilizadas são formuladas em função do grau dos vértices da rede (a quantidade de arestas que um vértice apresenta ou, em outros termos, o número de parceiros comerciais de cada UF):

1. Grau de distribuição;
2. Grau médio dos vizinhos próximos (ANND, em inglês);
3. Coeficiente de Cluster.

Os autores estruturam as três métricas acima com os dados empíricos de importação e exportação, compreendendo a estrutura da rede de comércio internacional. Em paralelo a isso, estruturam uma modelagem em conformidade com o Modelo Fitness, com base na probabilidade de conexão dos vértices (países) – que está em função do PIB dos países. Os autores identificam que essa modelagem teve sucesso em prever o comportamento dos dados comerciais observados. O objetivo final desta dissertação é replicar esta modelagem para o caso do Brasil.

O PIB das 27 Unidades Federativas do Brasil é capaz de explicar a topologia da rede de comércio entre os Estados? De forma reversa, as propriedades topológicas também explicam o tamanho do PIB das Unidades Federativas – conceito de retroalimentação? Poderíamos, então,

prever a dinâmica de comércio entre cada uma das 27 UF em função da participação destes no PIB? Com sucesso, estes questionamentos serão bem debatidos ao longo da dissertação.

## Capítulo 2

### Referencial Teórico

#### 2.1. Sistemas Complexos

De acordo com a literatura, não há uma definição de Sistemas Complexos que seja consensual para toda a comunidade científica. Mitchell (2009) define um Sistema Complexo como sendo um sistema com grande número de componentes e sem um controlador central que, a partir de regras simples de comportamento individual, dá origem a um comportamento coletivo auto-organizado – com processamento de informações sofisticado e adaptação por meio de aprendizado e evolução. Dessa forma, três propriedades são comuns a todos os sistemas complexos: (i) Sinalização e processamento de informações, (ii) adaptação e (iii) comportamento coletivo complexo.

A autora afirma que esse comportamento coletivo gerado em muitos sistemas é chamado de Emergência. Dessa forma, apresenta uma definição alternativa à dada anteriormente: um sistema complexo é aquele que exhibe Emergência não trivial e comportamento auto-organizado. A questão central desse campo de pesquisa, conforme Mitchell, é compreender como a Emergência auto-organizada surge.

Boccaro (2010), por sua vez, descreve como sendo um sistema com grande número de agentes conectados entre si, exibindo um comportamento global emergente não imposto por um controlador central, mas oriundo da interação destes agentes. As três propriedades de um sistema complexo, para o autor, são: (i) consiste em um grande número de agentes que interagem entre si, (ii) exibem Emergência, sendo este um comportamento auto-organizado e de difícil previsão a partir do conhecimento do comportamento individual dos agentes e (iii) o fenômeno emergente não resulta de um controlador central.

Solé (2011), por sua vez, afirma que quando um determinado parâmetro de um sistema é modificado e ultrapassa certo limiar, podemos observar mudanças na organização ou na dinâmica deste sistema<sup>1</sup>. O autor se refere a esses diferentes padrões de organização como Fases do sistema. Dessa forma, o autor define o estudo da complexidade como sendo a busca pelos

---

<sup>1</sup> Remete a ideia de *Tipping Point*, de Malcom Gladwell (2006): a informação (comportamentos, ideias, mensagens, etc) se espalha com muita eficácia por um sistema (como um vírus), podendo criar um cenário em que variáveis causais de baixa magnitude geram efeitos de grande magnitude em um espaço muito curto do tempo.

princípios do surgimento de fenômenos emergentes, da auto-organização e, diferentemente dos outros atores, enfatiza a busca pela definição das potenciais Fases do sistema.

O ferramental de Sistemas Complexos pode ser aplicado em diferentes áreas do conhecimento. De acordo com os autores mencionados, alguns exemplos de Sistemas Complexos são colônias de formigas em um formigueiro, cardumes de peixes, bandos de pássaros, rebanhos de mamíferos, o tráfego de veículos e a aglomeração de pedestres em uma cidade, vírus e o surgimento de pandemias, entre outros. Para além dos exemplos citados, o surgimento de Emergência com alto grau de auto-organização também pode ser encontrado em redes sociais, como a coleção e citação de artigos científicos publicados em jornais referenciados, o *World Wide Web* (ou a rede mundial de computadores, o sistema de documentos interligados e executados na internet), o preço de ações e o mercado financeiro de uma Economia, entre outras possibilidades.

Um sistema dinâmico nada mais é do que um conjunto de equações cuja solução descreve a evolução (em função do tempo) do estado de um sistema. Boccara (2010, p.11) define sistemas dinâmicos da seguinte maneira:

The notion of a dynamical system includes the following ingredients: a phase space  $S$  whose elements represent all the possible states of the system; time  $t$ , which may be discrete or continuous; and an evolution law (that is, a rule that allows determination of the state at time  $t$  from the knowledge of the states at all previous times).

Apesar desta definição geral, existem diferentes tipos de sistemas dinâmicos. Esta dissertação trata a Teoria de Redes, onde são construídos grafos  $G$ , que consistem de um conjunto não vazio de elementos chamados vértices  $V(G)$  e um subconjunto de pares ordenados de elementos distintos de  $V(G)$ , denominados arestas  $E(G)$ .

Para interpretar a evolução temporal de um sistema, é usual que criemos modelos teóricos, que consiste em representações matemáticas simplificadas do problema em questão. Pressupõe-se que a modelagem seja uma simplificação, sendo aqui o desafio a sabedoria em escolher quais variáveis são centrais para compreender a dinâmica do sistema e quais informações podem ser descartadas. Conforme Smith (1974), citado por Boccara, um modelo teórico tem por objetivo traçar ideias gerais sobre um sistema, enquanto, em contraposição à isso, as simulações têm um propósito específico, descrevendo casos particulares. Uma teoria

deve ter o mínimo de variáveis possíveis<sup>2</sup>, enquanto uma simulação deve incluir o máximo de detalhes possíveis. Este trabalho se encontra no âmbito das Ciências Econômicas e se debruçará sobre a testagem da teoria de Garlaschelli e Loffredo (2005) sob uma base de dados diferente da utilizada pelos autores e que, além disso, apresenta-se em nível de escala inferior à base de dados original.

## 2.2. Economia Internacional como um Sistema Complexo

De acordo com Hartmann et al (2017), medidas de complexidade econômica têm se mostrado como ferramentas quantitativas de grande potencial explicativo da estrutura e da capacidade produtiva de um país. Explorando a Teoria de Informação, Hidalgo (2015) afirma que objetos são depósitos de informação, ou seja, a produção de bens de uma Economia nos indica uma medida agregada de capital humano daquele país (conhecimento e *know-how*). Produtos industriais complexos demandam alto grau de conhecimento tácito (sinalização da qualidade da escolaridade e da tecnologia de um país), assim como a capacidade de formar redes de profissionais (sinalização sobre a saúde das instituições e do mercado de trabalho daquele país). Além disso, Hartmann et al (2017) afirmam que a diversidade de produtos exportados por um país pode servir de proxy do seu nível de capital humano, indicando não só crescimento econômico como também desenvolvimento econômico.

Uma abordagem interessante é entender como funciona a dinâmica de exportação no comércio internacional ao longo do tempo em função da capacidade produtiva de cada país. A identificação das regras e propriedades desse sistema, assim como possíveis padrões esperados, é essencial para a compreensão desse sistema dinâmico.

Feenstra (2018: p. 25-46) traz uma abordagem moderna sobre produtividade na área de Economia Internacional. O autor cita Schumpeter (1942, parte II) e o conceito de destruição criativa, defendendo a tese de que as firmas mais produtivas tendem a expandir vendas através de exportação, enquanto as firmas menos produtivas tendem a falir e sair do mercado – isso ocorre pela maior competição pela entrada de importações consequente da abertura comercial. Este cenário depende, obviamente, das barreiras de comércio e dos custos a serem absorvidos ao se transacionar internacionalmente (tarifas, custos de envio, dificuldades de comunicação e

---

<sup>2</sup> Navalha de Ockham.

execução de contratos entre países, entre outros fatores). A redução de custos de comércio induz à expansão da produção das empresas mais produtivas de um país, o que incentiva o aumento de exportações – dado que quanto maior a produtividade, maior a capacidade atender não só ao mercado doméstico, mas também o externo.

Como resultado, a produtividade média da indústria nacional aumenta e os preços ao consumidor caem (dado que aumenta a competição no mercado internacional). Dessa forma, ao analisarmos quais setores nacionais exportam para o mercado internacional, estamos identificando indiretamente quais são as firmas domésticas mais produtivas deste país (FREENSTRA, 2018).

Hidalgo et al (2007) fazem um trabalho de renome, com medidas baseadas em resultados, modelando o comércio internacional com base nas transações comerciais realizadas no período entre 1998 e 2000, com categoria de classes de produtos. Os autores constroem o Espaço de Produto: um grafo oriundo da matriz de proximidade de bens<sup>3</sup>, com base nas vantagens comparativas reveladas<sup>4</sup> dos países em cada produto da rede. É identificado, então, um padrão núcleo-periférico dos produtos. O núcleo desta rede é formado por produtos de metal, maquinaria e químicos; a periferia é composta por pescaria e agricultura cereal e tropical; além de *clusters* têxteis/vestimentas e eletrônicos. Os autores, então, contrapõem a localização dos países no grafo conforme seu padrão de especialização: os países industrializados estão localizados no núcleo e países subdesenvolvidos, na periferia. Os autores concluem o artigo discutindo sobre as dificuldades de movimentação dos países da rede. A estrutura do espaço de produto em conjunto com a localização dos países na rede e o processo de difusão que são submetidos sugerem que nem todos os países lidam com as mesmas oportunidades de desenvolvimento econômico. Países que se localizam na periferia apresentam maiores dificuldades em “moverem-se para novos produtos”, ou seja, em diversificar sua estrutura de

---

<sup>3</sup> A medida de proximidade é pautada na ideia de que, se dois bens são relacionados em termos de instituições, infraestrutura, fatores de produção e/ou tecnologia similares, eles tendem a ser produzidos em conjunto. Da mesma forma, bens dissimilares têm menos tendência de serem produzidos conjuntamente. A proximidade é calculada a partir das probabilidades condicionais das vantagens comparativas reveladas de dois bens  $i$  e  $j$ .

$$\varphi_{i,j} = \min \left\{ P \left( RCA_{x_i} \mid RCA_{x_j} \right), P \left( RCA_{x_j} \mid RCA_{x_i} \right) \right\}$$

<sup>4</sup> De acordo com a definição matemática elaborada pelos autores, um país  $c$  tem vantagem comparativa revelada ( $RCA > 1$ ) em um bem  $i$  quando a parcela exportada deste bem  $i$  com relação às suas exportações totais é maior do que o país “médio” da rede. Isso significa que o produto  $i$  apresenta menor custo de oportunidade do que o bem  $j$  e o país em questão é mais especializado na produção e exportação de  $i$  do que os outros países.

$$RCA_{c,i} = \frac{x(c,i)}{\sum_i x(c,i)} \bigg/ \frac{\sum_c x(c,i)}{\sum_{c,i} x(c,i)}$$

produção ao longo do tempo. Há, então, um obstáculo maior imposto aos países de menor poder aquisitivo em desenvolver-se economicamente.

Já os países com níveis de desenvolvimento econômico aparentemente semelhantes (níveis de produção e sofisticação de exportação) apresentam uma maior variação no conjunto de opções produtivas implícito em sua estrutura de produção atual. Dada sua estrutura de produção atual, alguns países apresentam maior facilidade em migrar sua produção para outros setores, outros países têm sua transformação limitada por “becos sem saída” (como os clusters). Esta descoberta auxilia na formulação de políticas econômicas, dado que os incentivos para transformação produtiva estrutural são mais desafiadores para longas distâncias no espaço de produto, sendo precisamente estas que geram crescimento econômico. Com este conhecimento, podemos elencar os melhores caminhos para o crescimento.

Outros estudos na área da Economia relacionados ao de Hidalgo et al (2007) foram Hidalgo e Hausmann (2009), utilizando de uma rede bipartida de países e produtos transacionados internacionalmente para compreender o desenvolvimento econômico; Neffke, Henning e Boschma (2011), estudando a emergência de crescimento regional a partir da evolução industrial da Suécia, construindo o *Industry Space*; Boschma e Iammarino (2009), estudando a relação entre crescimento econômico regional e variedade industrial na Itália.

A metodologia utilizada por Hidalgo et al (2007) é pautada em uma análise de dados com corte transversal, ou seja, em um ponto específico no tempo. Os autores do referido artigo sugerem como pesquisa futura a análise da evolução da estrutura produtiva dos países, fato que não pode ser realizado por corte transversal. Para tal abordagem, é necessária a inclusão do tempo como variável e conseguinte comparação da mudança da estrutura da rede ao longo do tempo.

A modelagem feita por Garlaschelli e Loffredo (2005) traz essa abordagem longitudinal, ao construírem um estudo topológico da rede de Comércio Internacional, estruturado a partir de uma perspectiva evolucionista. Entretanto, os dados utilizados pelos autores em seu modelo não incluem informação de classe dos produtos exportados<sup>5</sup>. O propósito de sua pesquisa é explorar as propriedades topológicas do comércio internacional que estão associadas aos respectivos Produtos Internos Brutos dos países, sob a descrição de um grafo direcionado.

---

<sup>5</sup> Mais especificamente, as fontes dos dados utilizados foram o *Penn World Tables* (PWT) e também o *Direction of Trade* (DOT) do Fundo Monetário Internacional (FMI). Os dados referentes ao PIB e ao comércio internacional são de periodicidade anual e estão no intervalo de tempo entre 1950 e 1996. Além disso, são referentes somente aos países vinculados à Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE) e sofrem de uma série de *missing values*, dados estes tratados por Kristian Gleditsch (2002).



Dessa forma, o método elaborado nos traz à discussão a dinâmica de reciprocidade entre a estrutura da rede de comércio internacional (em termos do total transacionado entre países) e a magnitude dos vértices que compõem essa rede (o PIB dos países). O artigo tem por objetivo estudar a dependência temporal dos parâmetros que descrevem a topologia da rede e os autores abrem a discussão de codependência entre a topologia do WTW com a distribuição do PIB relativo dos países incluídos na rede. Essa dinâmica é característica de sistemas complexos e é definido como retroalimentação, quando dois fatores se retroalimentam. A topologia da rede determina a distribuição do valor *fitness*<sup>6</sup> e o inverso também é verdadeiro.

Outros estudos topológicos do WTW relacionados ao de Garlaschelli e Loffredo (2005) foram o de Serrano e Boguná (2003); de Fagiolo, Reyes e Schiavo (2008) e (2009); e de De Benedictis e Tajoli (2011); sendo os dois últimos trabalhos realizados com o auxílio de modelos gravitacionais da área da física.

Em um nível de escala inferior, Beaton et al (2017), estudam a integração comercial em nível regional-internacional em termos de fluxo monetário. O artigo faz uma análise de rede da integração da América Latina e do Caribe (LAC) dentro da rede de comércio mundial, além da integração interna desta região. Algumas medidas topológicas baseadas em integração de rede são formuladas e comparadas com uma medida tradicional de integração comercial (abertura comercial). Essa métrica tradicional é calculada a partir do percentual do PIB correspondente ao comércio internacional – quando maior esta taxa, maior é a abertura comercial do país em questão.

Obtendo os dados de comércio de bens (excluindo serviços) do *Directions of Trade Statistics* (DOTS) do Fundo Monetário Internacional (FMI), o artigo de Beaton et al (2017) conclui que a LAC é fracamente conectada à *World Trade Network* (WTN), mas, ao analisarmos os dados com medidas topológicas de rede, a LAC é considerada relativamente bem conectada em termos de parceiros comerciais – apesar de alguns países serem subconectados devido à concentração de suas exportações para alguns destinos pontuais (como México-EUA). Algumas medidas de integração de rede propostas pelos autores são:

- (i) Grau (*Degree*). Refere-se ao número de arestas (parceiros comerciais) de um vértice específico. No caso de grafos direcionados, há a classificação entre grau de entrada (*in-degree*) e grau de saída (*out-degree*);

---

<sup>6</sup> O modelo *fitness* será abordado de forma mais detalhada no capítulo 4.

- (ii) Força (*Strength*). Faz referência à magnitude da aresta entre dois vértices (intensidade da conexão comercial, ou seja, o fluxo monetário). No caso de grafos direcionados, há a classificação entre força de entrada (*in-strength*) e força de saída (*out-strength*);
- (iii) Centralidade do Autovetor (*Eigenvector Centrality*). Medida de conectividade de um vértice (país) em termos de quantidade (*degree*) ou importância das arestas (*strength*). No caso de grafos direcionados, há a classificação entre *in-eigencentrality* e *out-eigencentrality*;
- (iv) Centralidade de Proximidade (*Closeness Centrality*). Trata sobre a distância geodésica – caminho mais curto através da rede – média de dada aresta para as outras arestas do grafo;
- (v) Centralidade de Intermediação (*Betweenness Centrality*). Trata sobre o número de menores caminhos que conectam todas as arestas da rede a todas as outras arestas que passam pela aresta analisada. Em termos intuitivos, mede a velocidade de propagação da informação.

Tais medidas apresentam um grande potencial informacional da integração comercial de uma ou mais Economias. O grau nos permite analisar se um país é mais ou menos diverso em termos de parceiros comerciais do que a média mundial. Essa medida nos sugere se os custos fixos de penetração em um novo mercado já foram ou não incorridos por dado país (vértice).

Os autores afirmam que nos anos de 1980 e 1990 houve um crescimento significativo do número de parceiros comerciais relatados, dada política de abertura comercial mundial, apesar de esse crescimento não ter sido uniforme: países maiores avançaram mais rapidamente em direção à integração total. Os autores propõem um estudo futuro para testar formalmente a importância do tamanho da Economia como determinante para a integração comercial. Esta proposta será abordada ao longo desta dissertação no contexto do comércio interestadual brasileiro, por meio da utilização do Modelo Fitness.

A medida de força necessita de uma delimitação interpretativa importante. Uma fraca integração (arestas de peso pequeno) indica somente um fluxo de comércio fraco e não nos diz nada sobre uma possível incapacidade de penetração em mercados diversificados. As três medidas de centralidade da rede listadas anteriormente – autovetor (iii), proximidade (iv) e intermediação (v) – estão relacionadas à participação do país-vértice nas cadeias de valor globais em função da sua posição no grafo (como por exemplo, o valor agregado estrangeiro nas exportações brutas de um país).

Essa compreensão é de extrema importância para entender o desencadeamento de crises econômicas, identificando países-vértices que amplificam os choques externos e países vulneráveis a efeitos colaterais de tais choques. O fluxo de comércio é sensível a estes vértices específicos e uma melhor compreensão da integração da rede de comércio pode trazer grandes benefícios para a formulação políticas públicas, como previsão e preparação para crises externas, estratégias de investimento, estratégia de distribuição e logística, entre outros.

Avançando para um nível de escala menor, Magalhães e Domingues (2008) fazem uma análise das relações interestaduais e intersetoriais do comércio interno brasileiro. Este estudo aborda o tema a partir de uma matriz de comércio interestadual com informações das vendas de mercadorias, bens e serviços por Unidade Federativa, utilizando de modelos econométricos de regressão múltipla como metodologia.

Os autores citam algumas pesquisas anteriores que abordam o tema a partir da análise de matrizes de fluxo de comércio interestadual de diferentes maneiras. Galvão (1999, p. 523-558) compara matrizes da década de 1940 e de 1960, identificando uma ampliação dos fluxos comerciais inter-regionais neste espaço de tempo e analisa as mudanças em cada uma das cinco regiões do Brasil. Andrade (1976) analisa a estrutura industrial brasileira e a concomitante especialização e transação de cada região, no ano de 1969. Castro et al (1999) traz a ideia de dependência econômica unilateral ao analisar as dimensões do comércio em 1985, ao identificar que SP representa 32% das vendas interestaduais e, em paralelo, as Unidades Federativas do Norte, Nordeste e Centro-Oeste somadas representarem somente 22,5% das vendas no fluxo de comércio brasileiro. Hidalgo e Vergolino (1998) estudaram o comércio especificamente do Nordeste com o restante do Brasil no ano de 1991. Todos os estudos anteriores utilizam o modelo econométrico gravitacional como metodologia. Domingues et al (2002) e Perobelli e Haddad (2006) trazem uma análise espacial de *cluster* para dados dos anos de 1985 e 1997. Vasconcellos e Oliveira (2006) fazem uma análise descritiva para dados do ano de 1999 e argumentam sobre a relação de compra e venda interestadual com a desigualdade de distribuição de renda brasileira.

Como será exposto no capítulo seguinte, pesquisadores da área de Economia Regional enfrentam um grande obstáculo que é o acesso aos dados brasileiros. Os dados de comércio interestadual brasileiro com categorização de classe de bens e serviços não são de livre acesso, impossibilitando a construção do Espaço de Produto brasileiro.

Dessa forma, trabalharemos com dados da rede da Balança Comercial Interestadual Brasileira (BCIB). Quais são os padrões topológicos encontrados nessa rede, com base em dados empíricos e medidas baseadas em resultado, sob uma análise *ex-post*? Em um segundo

momento, pretende-se testar formalmente a importância do tamanho das Unidades Federativas como determinante para a integração comercial. Mais especificamente, será utilizado o Modelo Fitness para associar a participação da Unidade Federativa no PIB com suas transações na BCIB.

### **2.3. Economia Regional**

O processo de integração econômica do Brasil e consequente unificação do mercado nacional é iniciado em meados da década de 1950, momento que marca o começo da construção da malha ferroviária brasileira (GALVÃO, 1999, p. 523-558; DINIZ, 1995, p. 25; DINIZ, 1993, p.44). Através de graduais investimentos em infraestrutura e diferentes políticas de integração regional aplicadas nas décadas seguintes, as barreiras comerciais inter-regionais foram reduzidas (com a diminuição dos custos de transporte). Com isso, os fluxos de comércio expandiram de forma expressiva, permitindo a formação do mercado nacional brasileiro mais unificado<sup>7</sup>. Outro fator atribuído por Diniz (1993 e 1995) como de central importância para a integração inter-regional interna do Brasil foi o desenvolvimento e modernização das telecomunicações.

Estudos sobre integração regional são relativamente escassos no Brasil e, conforme afirma Galvão (1999), um dos motivos de tal escassez é a ausência de levantamentos estatísticos adequados sobre fluxo de comércio. Em sua pesquisa, o autor constrói as matrizes de comércio interestadual por vias internas de anos específicos do período entre 1943 e 1969, cumprindo um desafio complexo no que se diz respeito à colheita de dados de notas fiscais emitidas pelas Secretarias de Fazenda de cada Unidade Federativa e também ao tratamento destes dados ao lidar com *missing values*<sup>8</sup>. Um dos motivos da importância de sua pesquisa é a demonstração

---

<sup>7</sup> Antes da consolidação da malha rodoviária brasileira como principal propiciador do comércio integrado, o comércio interno do Brasil era realizado por cabotagem (GALVÃO, 1999). O sistema ferroviário era de pequena extensão (máximo de 38 mil km) e não era integrado, reduzindo-se à conexão da região exportadora ao respectivo porto (DINIZ, 1995).

<sup>8</sup> As matrizes foram construídas para os anos de 1943, 1947, 1961 e 1969. Há ausência de levantamento de dados de algumas Unidades Federativas em diferentes anos e, em alguns casos, sem especificação de destino e procedência do fluxo comercial. O autor cruza dados de diferentes instituições das respectivas épocas, em nível Estadual e Federal, na tentativa de construir estas matrizes. O próprio autor enfatiza a deficiência e imperfeições de seus dados, mas sua pesquisa apresenta fonte relevante e, de certo modo, inédito do comércio inter-regional brasileiro do período em estudo.

do cenário inicial do comércio interestadual brasileiro. Isso nos permite compreender as condições iniciais e a evolução através da qual emerge uma Economia “continental” como é a Economia Brasileira atual.

Na década de 1940, de todos os bens comercializados dentro do Brasil por vias internas, a parcela que representa o comércio entre Estados da mesma região (intrarregional) flutuou perto dos 80%<sup>9</sup>. Segundo Galvão, isso confirma o cenário que o autor denomina como “arquipélago” de ilhas econômicas relativamente isoladas. Na época, o fluxo de comércio internacional era mais forte em volume do que o fluxo comercial entre as regiões brasileiras (inter-regional), indicando baixa integração regional. Desagregando os dados, o autor nos mostra que o comércio inter-regional variava em graus muito distintos entre as diferentes regiões brasileiras: enquanto o Norte e o Nordeste encontravam-se mais isolados da região mais industrializada (Sudeste), o Centro-Oeste e o Sul já comercializavam de forma predominantemente inter-regional e tinham seus mercados expostos às mais e modernas indústrias do Sudeste.

Nos anos de 1950 e de 1960, a construção da malha rodoferroviária permitiu a conexão de muitos espaços econômicos relevantes e o modelo econômico de substituição de importações adotado no país atraiu empresas multinacionais no setor industrial. A competição de empresas em busca de fontes de recursos naturais, oportunidades de investimento e novos nichos de mercado ainda não explorados alteraram a magnitude, o sentido e a natureza do fluxo comercial interestadual brasileiro, acelerando o processo de integração de mercados regionais – incluindo a expansão do grau de abertura do Norte e do Nordeste.

As implicações dessa dinâmica foram que as indústrias sulinas e centro-oestinas tiveram um período mais prolongado para se ajustarem e desenvolverem novas linhas de produção em função das indústrias sudestinas. Posteriormente, quando foi iniciado o processo de integração do Norte e Nordeste com essas regiões, já havia maiores diferenças de escala entre o parque industrial já integrado e as indústrias nortistas e nordestinas – o que dificultou a penetração destes novos mercados, dado contato industrial tardio. Em 1961, conforme dados colhidos por

---

<sup>9</sup> Em 1943, o comércio interestadual por vias internas somou cerca de 17,8 milhões de cruzeiros (comércio intrarregional de 14,6 milhões de cruzeiros e o inter-regional de somente 3,2 milhões). Exportações e as importações brasileiras alcançaram 8,7 e 6,1 milhões de cruzeiros, respectivamente. Em 1947, o comércio interestadual por vias internas somou cerca de 26,9 milhões de cruzeiros (comércio intrarregional de 21,6 milhões de cruzeiros e o inter-regional, de 5,3 milhões). Exportações e importações brasileiras alcançaram 21,2 e 22,8 milhões de cruzeiros, respectivamente.

Galvão (1999), o comércio intrarregional representou 55%<sup>10</sup> do comércio interestadual por vias internas. Em 1969, esta parcela passou a ser 53%<sup>11</sup>.

Conforme Diniz (1995), na década de 1970, em cumprimento ao II Plano Nacional de Desenvolvimento, grandes investimentos industriais ocorreram em diferentes regiões do Brasil, influenciando a desconcentração relativa da indústria no Sudeste e a criação de Estatais em diversos setores. Entre 1970 e 1990, há uma relativa reconcentração, estimando-se que Minas Gerais, São Paulo<sup>12</sup>, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul tiveram sua participação na produção industrial aumentada de 32% para 51% [DINIZ, 1995, p. 14; DINIZ, 1993, p 35-64].

De acordo com o IPEA, diversas políticas de incentivo ao desenvolvimento regional foram colocadas em prática a partir da década de 1960. Alguns exemplos são os incentivos fiscais institucionalizados pela Sudene no Nordeste, Sudam na Amazônia, Suframa em Manaus; o Fundo Constitucional para o Desenvolvimento das regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste foram criados em 1988; além de fundos setoriais; incentivos à exportação interestadual; crédito subsidiado; entre outros incentivos [DINIZ, 1995].

As mudanças tecnológicas em vigência nos últimos anos induzem a expansão setorial pautada na ciência e na técnica (em contraposição à busca de recursos naturais), que, por sua vez, relaciona-se diretamente com as produções e os fluxos interestaduais. Conforme alguns textos de discussão elaborados pelo IPEA enfatizam [DINIZ, 1995; DINIZ, 1993], há uma tendência à reaglomeração industrial em regiões mais desenvolvidas em termos de presença de centros de ensino e pesquisa, mercado de trabalho atrativo, relação articulada da indústria, base educacional, clima de negócios, concentração de recursos, etc.

Estes parques tecnológicos tendem a se estabelecer em regiões com grandes aglomerações urbanas, fator que retroalimenta o crescimento de novas atividades industriais, incentivando a aglomeração industrial. Alguns autores enfatizam a importância que esses parques tecnológicos têm perante o desenvolvimento industrial geral e para o crescimento regional em países industrializados [De Mattos (1990); NIT (1988);]. O destaque de algumas dessas regiões são: São Paulo, Minas Gerais, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. A

---

<sup>10</sup> Em 1961, o comércio interestadual por vias internas somou cerca de 855,7 milhões de cruzeiros (comércio intrarregional de 474,6 milhões de cruzeiros e o inter-regional de 381,2 milhões). Exportações e as importações brasileiras alcançaram 245,2 e 299,3 milhões de cruzeiros, respectivamente.

<sup>11</sup> Em 1969, o comércio interestadual por vias internas somou cerca de 32.602 milhões de cruzeiros (comércio intrarregional de 17.562,6 milhões de cruzeiros e o inter-regional de 15.039,4 milhões). Exportações e as importações brasileiras alcançaram 9.214 e 8.980 milhões de cruzeiros, respectivamente.

<sup>12</sup> Excluindo a Área Metropolitana de São Paulo.

concentração industrial prévia no Brasil, em conjunto com a desigualdade de renda e de pesquisa, dificultam a desconcentração industrial nas regiões Sul e Sudeste, de acordo com o IPEA [Diniz, 1993]. O padrão de concentração dos parques industriais e da produtividade está correlacionado com concentração de renda e recursos para tal. O autor, então, define o Brasil como um caso de desenvolvimento poligonal: um limitado número de novos polos de crescimento captura a maior parte das novas atividades econômicas.

A crise econômica na década de 1980 congelou as alterações regionais de produção [DINIZ, 1993, p. 58]. Em 1999, a região do Sudeste representou cerca de 60% das saídas transacionadas no Brasil e 51% das entradas, enquanto a região sul transacionou 21% das saídas e também das entradas – conforme Balança Comercial Interestadual montada por Vasconcelos (2001)<sup>13</sup>. São Paulo foi a Unidade Federativa com mais participação nas transações interestaduais brasileiras, representando 37% das saídas e 25,9% das entradas. Minas Gerais foi a segunda UF de maior relevância, transacionando cerca de 11% das saídas e também das entradas. Estes resultados nos mostram a reconcentração de fluxos comerciais interestaduais indicada anteriormente.

Todos os estudos analisados para a confecção desta seção enfatizam consensualmente o obstáculo que a pesquisa enfrenta no que se refere à ausência ou à qualidade das informações estatísticas da área de Economia Regional. Graças à instauração da Nota Fiscal eletrônica, aprovado por um Projeto de Lei em 2005, iniciou-se o processo para a automatização virtual dos dados de comércio interestadual brasileiro.

Como se dá o fluxo de comércio interestadual na contemporaneidade brasileira? Há comércio entre todas as 27 Unidades Federativas, uma vez que ultrapassamos a barreira de transporte rodoviário e aéreo? A concentração industrial e produtiva, que pode ser sinalizada pela magnitude de fluxo monetário interestadual, continua aglomerada nos Estados das regiões Sul e Sudeste? O Brasil permanece sendo um caso de desenvolvimento poligonal? Em caso afirmativo, o desenvolvimento poligonal pode ser explicado pelo tamanho das UF em termos de participação do PIB brasileiro? Ainda mais importante: quais são as propriedades topológicas desta rede, uma vez analisando estes dados sob uma metodologia diferente da usual (comparações percentuais)? O próximo capítulo tem por objetivo responder estes questionamentos.

---

<sup>13</sup> Os termos “saídas” e “entradas” indicam transações de mercadorias, bens, ou a aquisição de serviços interestaduais. Dados referentes à tabela 2.C – Brasil – Valores e Participação das Unidades Federativas nas Transações Interestaduais.

## Capítulo 3

### Metodologias

#### 3.1. Modelo de codependência de Garlaschelli e Loffredo (2005)

Os autores constroem a rede de comércio internacional a partir do fluxo monetário internacional, representados por uma aresta entre cada dupla de países que comercializam entre si: o valor das importações de  $i$  advindos de  $j$  no período  $t$  é representado por uma aresta direcionada de  $i$  para  $j$  no  $t$ -ésimo instante do grafo. É então construída uma matriz adjacente cujos elementos são definidos a partir de uma perspectiva booleana, conforme indicado a seguir.

$$\begin{cases} a_{ji}(t) = 1 & \text{caso } i \text{ importe de } j \text{ no período } t; \\ a_{ji}(t) = 0 & \text{caso } i \text{ não importe de } j \text{ no período } t. \end{cases} \quad (1)$$

Dessa forma, é feita uma análise direcionada (fluxo monetário) e evolucionista (em função do tempo  $t$ ) do grafo. O grau de cada vértice (país) também é definido sob uma perspectiva direcionada: o grau de entrada (*in-degree*) é o número de arestas apontadas para  $i$ . Os autores definem o sentido da aresta como sendo o fluxo monetário, portanto, isso significa que o grau de entrada representa o número de países que  $i$  exporta – o número de vértices cujo fluxo de moeda está indo para  $i$ . Por outro lado, o grau de saída (*out-degree*) é o número de arestas que saem de  $i$ , representando o número de países que  $i$  importa – o número de vértices (países) cujo fluxo de moeda sai de  $i$ . Dessa forma, podemos definir os graus pela soma dos elementos da matriz adjacente direcionada, para cada tempo  $t$ .

$$\begin{cases} k_i^{in}(t) = \sum_{j=1}^{N(t)} a_{ij}(t) \\ k_i^{out}(t) = \sum_{j=1}^{N(t)} a_{ji}(t) \end{cases} \quad (2)$$

Garlaschelli e Loffredo (2005) constroem uma relação entre a matriz adjacente direcionada e a não direcionada, visto que muitos estudos topológicos trabalham com a segunda



forma. Sendo  $a_{ij}$  a matriz adjacência de um grafo direcionado, então a versão não direcionada deste grafo pode ser representada uma matriz adjacente simétrica<sup>14</sup>:

$$b_{ij} \equiv a_{ij} + a_{ji} - a_{ij}a_{ji} \quad (3)$$

A correspondência entre um grafo direcionado e sua versão não direcionada deve ser feita também em termos de grau. Relacionamos  $k_i^{in}(t)$  e  $k_i^{out}(t)$  com o grau do vértice/país  $i$  não direcionado  $k_i(t)$ . Para fazer esta relação, introduzimos a ideia de grau recíproco ( $\vec{k}_i$ ) como sendo o número de vértices vizinhos cujo país  $i$  tem conexões recíprocas – importação e exportação simultânea.

$$\begin{cases} k_i^{in}(t) = \sum_{j=1}^{N(t)} a_{ij}(t) \\ k_i^{out}(t) = \sum_{j=1}^{N(t)} a_{ji}(t) \\ k_i(t) = \sum_{j=1}^{N(t)} b_{ij}(t) \end{cases} \quad (4)$$

$$k_i(t) = k_i^{in}(t) + k_i^{out}(t) - \vec{k}_i(t) \quad (5)$$

$$\vec{k}_i(t) \equiv \sum_{j=1}^{N(t)} a_{ij}a_{ji}(t) \quad (6)$$

Conforme a equação 5, o grau de uma rede não direcionada será a soma dos graus de entrada com os graus de saída, mas retirando-se o grau que é recíproco, evitando dupla contagem. O grau recíproco será, conforme equação 6, aquele em que nem  $a_{ij}$  nem  $a_{ji}$  podem ser nulos, ou seja, são as conexões em que ambos valem 1 simultaneamente.

Em artigo anterior, Garlaschelli e Loffredo (2004) analisaram padrões de arestas recíprocas em redes direcionadas e, analisando especificamente o WTW, algumas propriedades empíricas foram encontradas. A primeira observação encontrada é a relação aproximada entre o grau de entrada e o grau de saída ( $k_i^{in}(t) \approx k_i^{out}(t)$ ), ou seja, há aproximadamente a mesma quantidade de arestas de entrada e de saída quando analisamos todas as arestas do WTW

---

<sup>14</sup> Uma matriz adjacência simétrica é aquela em que cada entrada  $a_{ij}$  é igual à entrada  $a_{ji}$ , sendo então simétrica ao longo da diagonal principal. Em uma rede não direcionada, o país  $i$  é conectado ao país  $j$  se cumpre pelo menos uma das condições: importa, exporta ou faz ambos.

(descrito na equação 7). A segunda propriedade encontrada é a relação linear entre o grau recíproco  $\vec{k}_i$  e o grau total da rede  $k_i^T(t)$  (descrito na equação 9).

$$k_i^{in}(t) \approx k_i^{out}(t) \quad \forall i, t \quad (7)$$

$$k_i^T(t) \equiv k_i^{in}(t) + k_i^{out}(t) \quad (8)$$

$$\vec{k}_i(t) \approx \frac{r(t)}{2} k_i^T(t) \quad (9)$$

Onde  $r(t)$  é a taxa de reciprocidade, definida como a taxa de arestas recíprocas do grafo  $\vec{L}(t)$  do total de arestas  $L(t)$ .

$$r(t) \equiv \frac{\vec{L}(t)}{L(t)} \quad (10)$$

Dessa maneira, esses resultados empíricos encontrados nas equações 7 e 9 nos permite obter propriedades do WTW como uma rede direcionada a partir da versão não direcionada da rede. Para a aplicação desta metodologia na Balança Comercial Interestadual Brasileira (a ser tratado na seção 4.4), é preciso que observemos se esses resultados empíricos também são verdadeiros na base de dados a ser testada. As equações 5, 7 e 9 implicam em:

$$k_i^{in}(t) \approx k_i^{out}(t) \approx \frac{k_i^T(t)}{2} \approx \frac{k_i(t)}{2-r(t)} \quad (11)$$

A relação entre  $L(t)$  e o número de arestas do grafo não direcionado  $L^u(t)$  é dada por:

$$L(t) = \sum_{i=1}^{N(t)} k_i^{in}(t) = \frac{1}{2-r(t)} \sum_{i=1}^{N(t)} k_i(t) = \frac{2}{2-r(t)} L^u(t) \quad (12)$$

Uma valiosa consequência da equação 12 é a capacidade de captar a descrição completa e direcionada de um grafo em qualquer tempo  $t$ , a partir da topologia da rede não direcionada. Essa relação depende somente do valor de  $r(t)$ .

Os autores definem, então, algumas propriedades topológicas (PT) que foram encontradas empiricamente ao estudar os dados da rede de comércio internacional no ano de

1995. A PT de primeira ordem é o grau de distribuição acumulativa de  $k$ , onde a relação entre o grau  $k$  (o número de conexões de um vértice, ou seja, número de parceiros comerciais de um país) e a distribuição cumulativa de probabilidade  $P(k)$  (a fração de vértices da rede que tem grau menor ou igual a  $k$ ) segue uma relação inversamente proporcional com corte acentuado, como mostra a figura 2(a). Isso significa dizer vértices com grau  $k$  pequeno têm alta probabilidade de ocorrer e quanto maior o grau  $k$ , menor a probabilidade de aparecer na rede.

A propriedade topológica de segunda ordem faz referência à forma de distribuição de grau de dois vértices conjuntos,  $P(k, k')$ . Para isso, plotamos o grau médio do vizinho próximo (*average nearest neighbour degree*)  $K_i^{nn}$  versus o grau  $k_i$ .

$$K_i^{nn} = \frac{1}{k_i} \sum_j b_{ij} k_j \quad (13)$$

A equação 13 nos mostra o grau médio dos vizinhos conectados a  $i$ . A matriz  $b_{ij}$  tem seus elementos iguais a 1 quando há conexão entre  $i$  e  $j$  (de forma não direcionada) e zero caso não haja aresta ligando  $i$  e  $j$ . A variável  $k_j$  indica quantas arestas o vértice  $j$  tem, sendo  $j$  vizinho de  $i$ . Já a variável  $k_i$  mostra quantas arestas o vértice  $i$  apresenta. Dessa forma,  $K_i^{nn}$  mostra a soma dos graus dos países vizinhos a  $i$ , dividido pelo grau de  $i$ , indicando o grau médio de seus vizinhos.

Esta propriedade topológica também apresentou tendência decrescente, indicando que os graus dos vértices vizinhos são anticorrelacionados, como mostra a figura 2(b). Isso significa que vértices de baixo grau (países com poucos parceiros comerciais) tendem a se conectar com vértices de alto grau (países com muitos parceiros comerciais) e vice versa. Em termos teóricos, podemos afirmar que a WTW é uma rede dissassortativa, onde os vértices da rede tendem a se conectar com vértices dissimilares em termos de grau (Caldarelli e Chessa, 2016).

Por fim, a propriedade topológica de terceira ordem relaciona a distribuição de grau de três vértices conjuntos. Para fazer esta análise, relacionamos o *clustering coefficient* ( $C_i$ ) versus o grau  $k_i$ .

$$C_i = \frac{1}{(k_i(k_i-1))} \sum_{j \neq i} \sum_{k \neq i, j} b_{ij} b_{jk} b_{ki} \quad (14)$$

Dado que dois vértices ( $j$  e  $k$ ) são conectados ao vértice  $i$ , essa propriedade nos indica a probabilidade destes dois vértices vizinhos também serem conectados entre si (grosso modo, a formação de “triangulações”). Dessa forma, o coeficiente de *cluster* mensura o número de

“triângulos” presentes em um vértice  $i$  particular (Caldarelli e Chessa, 2016). Como mostra a figura 2(c), a tendência encontrada empiricamente na WTW no ano de 1995 foi, mais uma vez, decrescente. Em termos intuitivos, isso significa dizer que países pouco conectados (grau  $k$  pequeno) têm maior probabilidade de apresentarem triangulações locais. Quanto mais conexões um país apresenta, menor é a probabilidade de formar triangulações de pares conectados.

Após a apresentação destes resultados empíricos para o ano de 1995 (pontos plotados nos gráficos a seguir) os autores constroem uma modelagem teórica utilizando o Modelo Fitness e plotam no mesmo gráfico (linhas contínuas).

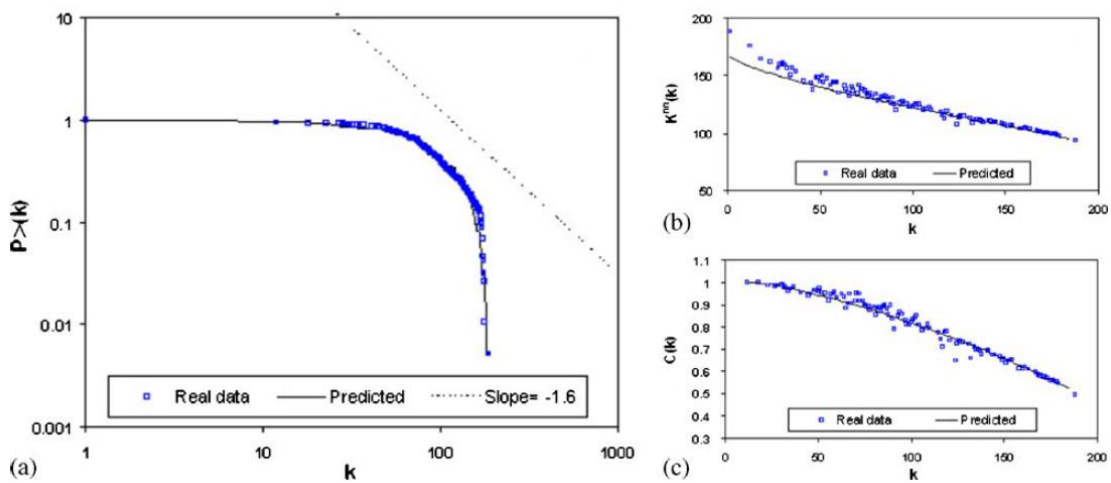


Figura 2 - Garlaschelli, D. e Loffredo, M. I. (2005: 141).

Para a elaboração do modelo teórico, a topologia da rede de fluxo monetário mundial é associada com os Produtos Internos Brutos (PIB) dos países que a compõem a partir da utilização do Modelo Fitness. A cada período  $t$ , o PIB (tratado como uma ponderação do vértice) é considerado proporcional ao número potencial de conexões que este país pode desenvolver naquele período.

Dessa forma, as três métricas topológicas aplicadas (grau de distribuição, *average nearest neighbour degree* e coeficiente de cluster) foram reformuladas como variáveis dependentes em função do PIB relativo (PIB / PIB médio) como uma variável independente. Com essa reformulação, pode-se plotar a função teórica no mesmo gráfico que foram plotados os dados empíricos, para efeitos comparativos. Essa modelagem será tratada de forma aprofundada na seção 4.2, a seguir.

Como há uma boa convergência entre o modelo teórico e os dados, o artigo é concluído demonstrando que o Modelo Fitness apresenta forte poder explicativo para esse conjunto de

dados, mostrando acurácia e boa previsibilidade do comportamento sistêmico da rede de comércio internacional.

### 3.2. O Modelo Fitness

Já o Modelo Fitness é uma metodologia que tem por objetivo entender a qual taxa os vértices de uma rede têm sua conectividade aumentada em função de sua aptidão por competir por arestas. Bianconi e Barabási (2001: 437, 438) afirmam que esse método tem sido muito utilizado para compreender a evolução da conectividade de redes sociais e páginas da Internet. A variável *fitness* seria um expoente dinâmico que sinaliza as diferentes aptidões dos vértices de uma rede em conectar-se com outros, construído por meio de um parâmetro designado a cada vértice. Bianconi (2005) também utiliza do Modelo Fitness para estudar a emergência de um padrão de topologia-peso em redes complexas de livre escala. Além disso, Bianconi, Pin e Marsili (2009) aplicam esta metodologia às redes sociais de amizade em escolas dos EUA, à rede de interação de proteínas e também de aeroportos dos EUA, mostrando o poder informacional que esse método oferece.

Mais especificamente, o Modelo Fitness consiste em atribuir um valor *fitness*  $x_i$  a cada vértice  $i$  – como uma variável oculta – de forma a associar a este valor a probabilidade de conectividade do vértice. Dessa forma, a probabilidade  $p_{ij}$  de  $i$  e  $j$  serem conectados está em função  $p(x_i, x_j)$ , ou seja, das variáveis ocultas. A variável  $x_i$  a ser utilizada será a participação no PIB de cada Unidade Federativa, portando, adimensional.

Garlaschelli e Loffredo (2005) justificam o uso do Modelo Fitness para o caso da rede de Comércio Internacional afirmando que, em cada período  $t$ , o PIB dos países (que, em escala inferior, é comparada com o PIB dos Estados + DF) é considerado proporcional ao número potencial de conexões (ou parcerias comerciais) que um país pode desenvolver. As propriedades topológicas esperadas da rede dependem somente da forma da função de probabilidade e da distribuição *fitness*  $\rho(x)$ .

Podemos formalizar esta variável definindo  $w_i$  como sendo o PIB do país  $i$  e a variável *fitness*  $x_i$  adimensional como sendo o PIB relativo ao comparar com o PIB médio da rede.

$$x_i(t) = \frac{w_i(t)}{\langle w_i \rangle(t)} = \frac{w_i(t)}{\frac{\sum_{j=1}^{N(t)} w_j(t)}{N(t)}} \quad (15)$$

Dessa forma, a escolha natural para o formato de  $p_t(x_i, x_j)$  é dado por:

$$p_t[x_i(t), x_j(t)] = \frac{\delta(t)x_i(t),x_j(t)}{1+\delta(t)x_i(t),x_j(t)} \quad (16)$$

De acordo com Caldarelli e Chessa (2016), uma sequencia de graus nada mais é do que uma lista dos vários graus  $k_i$  da rede – listados de forma decrescente. Embora possamos associar uma sequência de graus a qualquer grafo, nem todas as sequências podem produzir um grafo. A equação 16 assegura que para dado período  $t$ , existem diferentes configurações da rede complexa com a mesma sequência de graus  $\{k_i(t)\}_{i=1}^{N(t)}$ , sendo elas equiprováveis.

Como fica evidente, o único parâmetro livre da equação 16 é  $\delta(t) > 0$ . Este parâmetro pode ser fixado ao exigirmos que o número esperado de arestas na rede não direcionada seja igual ao valor observado  $L^u(t)$ . Dessa forma, seu valor esperado é:

$$\tilde{L}^u(t) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{N(t)} \sum_{j \neq i} p_t[x_i(t), x_j(t)] = L^u(t) \quad (17)$$

A partir da definição do valor do parâmetro  $\delta(t)$ , a topologia da rede está completamente especificada. Podemos, então, reescrever as três propriedades topológicas em termos de seus valores esperados, convertendo-os como função da variável *fitness*. Dessa maneira, a o grau esperado  $\tilde{k}_i(t)$ ; o grau médio do vizinho próximo (*average nearest neighbour degree*) esperado  $\tilde{K}_i^{nn}$  e o coeficiente de cluster esperado  $\tilde{C}_i$  são reescritos a seguir.

$$\tilde{k}_i(t) = \sum_{j \neq i} p_t[x_i(t), x_j(t)] \quad (18)$$

$$\tilde{K}_i^{nn}(t) = \frac{\sum_{j \neq i} \sum_{k \neq j, i} p_t[x_i(t), x_j(t)] p_t[x_j(t), x_k(t)]}{\tilde{k}_i(t)} \quad (19)$$

$$\tilde{C}_i(t) = \frac{\sum_{j \neq i} \sum_{k \neq j, i} p_t[x_i(t), x_j(t)] p_t[x_j(t), x_k(t)] p_t[x_k(t), x_i(t)]}{\tilde{k}_i(t)[\tilde{k}_i(t)-1]} \quad (20)$$

As propriedades esperadas descritas nas equações 18, 19 e 20 – utilizando somente a probabilidade de conexão  $p_{ij}$  a partir do PIB relativo de cada país – explicaram com excelente acurácia os dados empíricos explorados por Garlaschelli e Loffredo (2005). Para o ano de 1995, ao definirem  $\tilde{L}^u(1995) = L^u(1995)$ , encontraram  $\delta(1995) = 78,6$ . Os autores afirmam que esta

modelagem capturou com excelência os aspectos básicos da topologia do *World Trade Web*, afirmando que para compreender a evolução temporal, basta analisar a mudança da distribuição estatística dos PIB dos países e do parâmetro  $\delta$ .

É importante ressaltar que um dos ganhos do uso desta metodologia é a capacidade de relato da evolução temporal da rede a partir do menor número possível de parâmetros exógenos imprevisíveis. O número de países é um destes parâmetros e deve ser *input* do modelo por razões geopolíticas. Para o caso do Brasil, este input será fixo em 27 Unidades Federativas, visto que o período dos dados não contemplam mudanças na quantidade de UF brasileiras.

Dessa forma, o método elaborado nos traz à discussão a dinâmica de co-dependência entre a topologia do WTW com a distribuição do PIB relativo dos países inclusos na rede. Essa dinâmica é característica de sistemas complexos e é definido como *feedback loop*, quando dois fatores se retroalimentam. A topologia da rede determina a distribuição do valor *fitness* e o inverso também é verdadeiro.

Como dito anteriormente, proporemos a análise da Economia Brasileira como um Sistema Complexo. Para tal, construiremos a rede de comércio para o caso específico do Brasil – o que demanda que atuemos em um nível de escala inferior ao utilizado por Garlaschelli e Loffredo (2005). Para que consigamos analisar as propriedades topológicas da Economia Brasileira, os dados tratados são informações de compra e venda interestadual, compondo a rede de comércio entre as Unidades Federativas do Brasil (Balança Comercial Interestadual Brasileira).

Primeiramente testaremos se as observações empíricas (equações 7 e 9) são verdadeiras para o comércio interestadual brasileiro para que, assim, possamos associar o grafo direcionado à sua versão não-direcionada. Uma vez confirmadas as duas observações, serão construídas as três propriedades topológicas para os dados empíricos do Brasil: os resultados encontrados são similares aos resultados dos autores para o comércio internacional?

Por fim, o Modelo Fitness será utilizado para associarmos o PIB estadual das Unidades Federativas do Brasil com as propriedades topológicas da rede construída empiricamente: esta modelagem também apresenta acurácia explicativa para o caso do Brasil?

O comércio doméstico brasileiro também apresenta dinâmica de reciprocidade (codependência, retroalimentação) entre a estrutura da rede de comércio e a magnitude dos vértices que a compõem? Ou seja, a topologia da rede determina a distribuição dos PIB relativos e vice-versa? Ou as dinâmicas destes dois comércios se diferenciam de alguma forma? Em caso positivo, em que? Quais os desencadeamentos dessas propriedades na Economia Brasileira? Quais conclusões podemos obter sobre a Economia Brasileira com as características

topológicas encontradas (em comparação com a rede mundial)?

### 3.3. Base de Dados

Para a construção da matriz adjacente da Balança Comercial Interestadual Brasileira (BCIB) direcionada, foram utilizados os dados fornecidos em livre acesso pelo Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ), associado ao Ministério da Economia (ME)<sup>15</sup>. Os dados coletados são agregados anualmente a partir de 2017. As notas técnicas do CONFAZ afirmam que foram utilizados os valores totais da Nota Fiscal Eletrônica (NF-e), dados coordenados pelo Encontro Nacional de Coordenadores e Administradores Tributários Estaduais (ENCAT) e desenvolvida em parceria com a Receita Federal do Brasil (RFB). A NF-e tem por objetivo documentar, para fins fiscais, todas as operações de circulação de mercadorias ou prestação de serviços<sup>16</sup>.

A Matriz adjacente da BCIB apresenta 27 linhas e 27 colunas, representando as 27 Unidades Federativas do Brasil. As linhas indicam a UF de origem e as colunas indicam a UF destino do comércio interestadual. A Matriz é ponderada e direcionada, indicando a magnitude transacionada e se é uma venda ou uma compra (“exportação” ou “importação” interestadual) a partir do sinal do valor transacionado<sup>17</sup>.

Os números da matriz representam os valores comercializados entre cada díade de UF, em reais. Intuitivamente, o sinal do valor transacionado indica o saldo da Balança Comercial (BC) entre duas Unidades Federativas. É importante ressaltar que estes valores indicam transações líquidas: se  $i$  teve saldo positivo com respeito ao comércio com  $j$ , isso indica que suas vendas para  $j$  (“exportações interestaduais”) se sobressaíram às suas compras de  $j$  (“importações interestaduais”). Não podemos afirmar, neste cenário, que  $i$  não tenha realizado nenhuma compra de  $j$ . Contudo, podemos afirmar que o fluxo monetário resultante tenha sido no sentido  $j$  para  $i$ .

---

<sup>15</sup> Disponível na seção “Tabela Consolidada” em:

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNWU2YmI2Y2Q4YmY0ODBiLWE0OGMtMThkZTQ4MjQyMzJlIiwidCI6IjNlYzkyOTY5LTZhNTEtNGYxOC04YWM5LWVmOThmYmFmYTk3OCJ9>

<sup>16</sup> Existem algumas exceções de empreendimentos que não são obrigados a emitir NF-e, como o MEI, mas todos são incentivados a tal.

<sup>17</sup> As células positivas indicam saldo comercial positivo, que significa que as vendas estaduais (“exportações”) sobressaíram as compras estaduais (“importações”) para o caso das UF descritas nas linhas (que é a origem do comércio). Portanto, as células positivas indicam as relações cujo fluxo monetário entra nas células de origem do comércio (linhas) – o “**in degree**”.



Neste caso, o valor da célula na linha  $i$  (origem) e coluna  $j$  (destino) será positivo e, concomitantemente, o valor da célula na linha  $j$  (origem) e coluna  $i$  (destino) será negativo em igual valor. A diagonal principal da matriz é ausente de valores, visto que é analisado somente o comércio interestadual. Os dados não nos informam sobre comércio interno das Unidades Federativas (intraestadual). A matriz é simétrica à sua oposta, ou seja, a matriz BCIB transposta apresenta os mesmos valores em sinal contrário (a saída de  $i$  para  $j$  é o mesmo valor de entrada de  $j$  para  $i$ , em sentido contrário). Dessa forma, é importante ressaltar que foi utilizada somente a metade dos dados do *dataset*, visto que a transação entre  $i$  e  $j$  é a mesma que ocorre entre  $j$  e  $i$ , em sinal contrário (indicando o sentido).

Para o cálculo da variável *fitness*, utilizaremos a participação no PIB das unidades federativas brasileiras calculada pela Ótica da Renda, disponível em livre acesso pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)<sup>18</sup>. Dessa forma, não é necessário que os dados sejam deflacionados, visto que estamos utilizando dados adimensionais com foco comparativo (percentual de participação no PIB do Brasil). Caso fossem utilizados os valores brutos em reais, seria necessário que os dados fossem deflacionados para comparação de ano a ano.

### 3.4. A Balança Comercial Interestadual Brasileira (BCIB)

Esta seção será iniciada com a análise exploratória da BCIB, com ênfase na descrição de características centrais da base de dados para o ano de 2017. Em seguida, será realizada a aplicação do método de Garlaschelli e Loffredo (2005) a partir da implementação das três métricas topológicas observadas em 2017, assim com os valores esperados conforme a modelagem Fitness.

O Brasil encontra-se em um nível de integração inter-regional nunca visto antes. A quantidade de conexões encontradas no período 2017-2020 é superior a todos os anos anteriores, conforme abordam os estudos citados na seção de Economia Regional. Nos anos recentes, todas as 27 Unidades Federativas<sup>19</sup> apresentam conexão a todas as outras 26 Unidades

---

<sup>18</sup> Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9054-contas-regionais-do-brasil.html?edicao=26018&t=downloads>

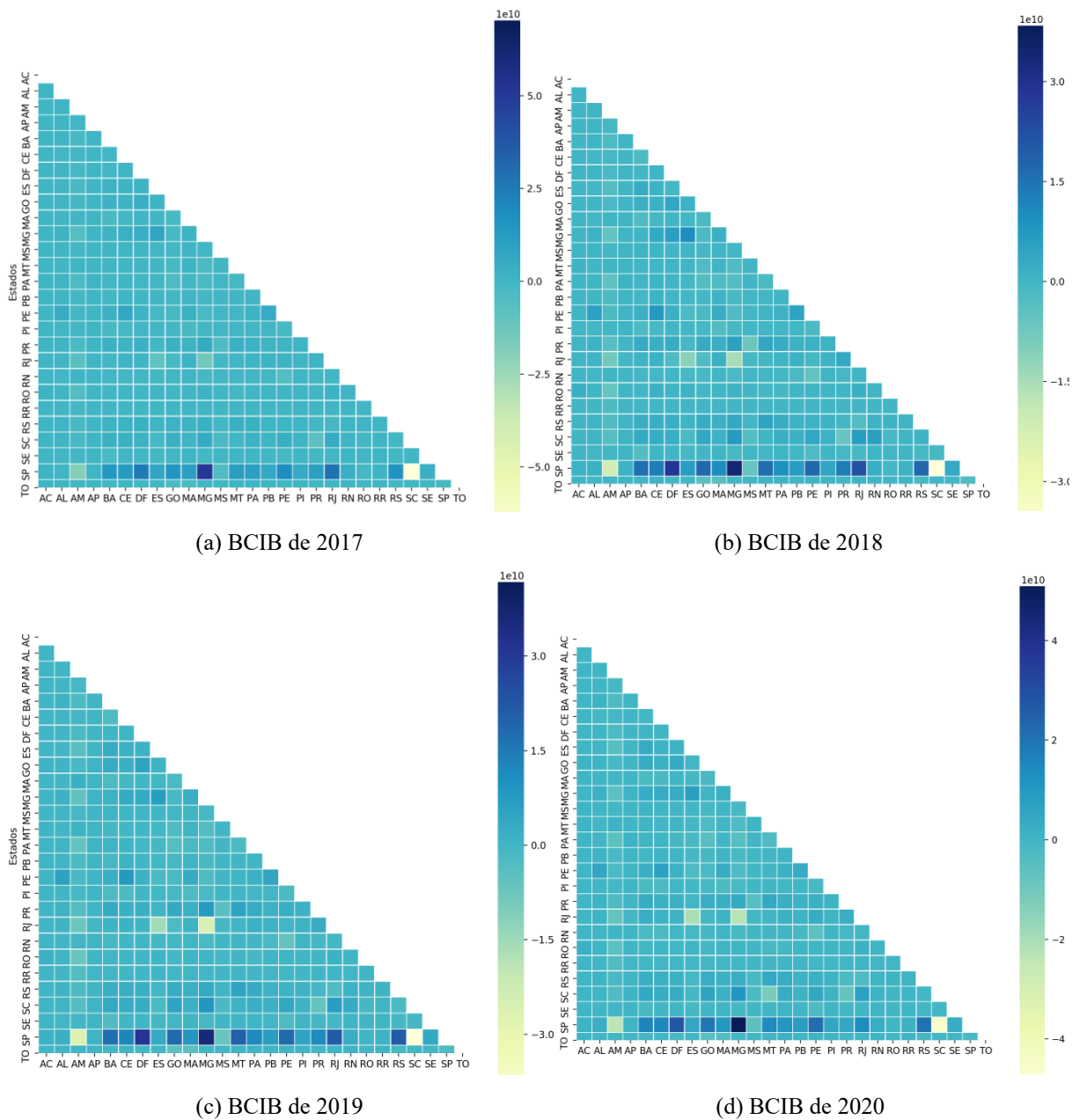
BCIB: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiaNWU2YmI2Y2Q0YUxMy00ODBiLWE0OGMtMThkZTQ0MjQyMzJlIiwidCI6IjNlYzkyOTY5LTVhNTEtNGYxOC04YWM5LWVmOThmYmFmYTtk3OCJ9>

<sup>19</sup> Acre (AC); Alagoas (AL); Amazonas (AM); Amapá (AP); Bahia (BA); Ceará (CE); Distrito Federal (DF); Espírito Santo (ES); Goiás (GO); Maranhão (MA); Minas Gerais (MG); Mato Grosso do Sul (MS); Mato Grosso (MT); Pará (PA); Paraíba (PB); Pernambuco (PE); Piauí (PI); Paraná (PR); Rio de Janeiro (RJ); Rio Grande do

Federativas, sem exceção. Isso significa que os custos fixos de penetração de todas as UF já foram incorridos, capilaridade concedida pelo sucesso da redução de barreiras comerciais interestaduais, em consonância com as múltiplas políticas de desenvolvimento citadas anteriormente.

O *heatmap* a seguir (figura 3) nos mostra os dados agregados da Balança Comercial Interestadual Brasileira nos anos de 2017 a 2020, indicando informações de grau, mas com a ênfase na força.

**Figura 3 - BCIB de (a) 2017; (b) 2018; (c) 2019 e (d) 2020.**



Fonte: elaborado pela autora.

Como mencionado anteriormente, cada linha nos indica a UF origem e cada coluna nos indica as UF destino do comércio interestadual do respectivo ano. Os valores positivos na matriz (escala em azul) representam as transações que são superavitárias no comércio interestadual brasileiro, sendo *in-degree* do fluxo monetário para as UF origem (linhas) e *out-degree* para as UF destino (coluna).

As células de cor azul clara (a maioria) representam transações de magnitude

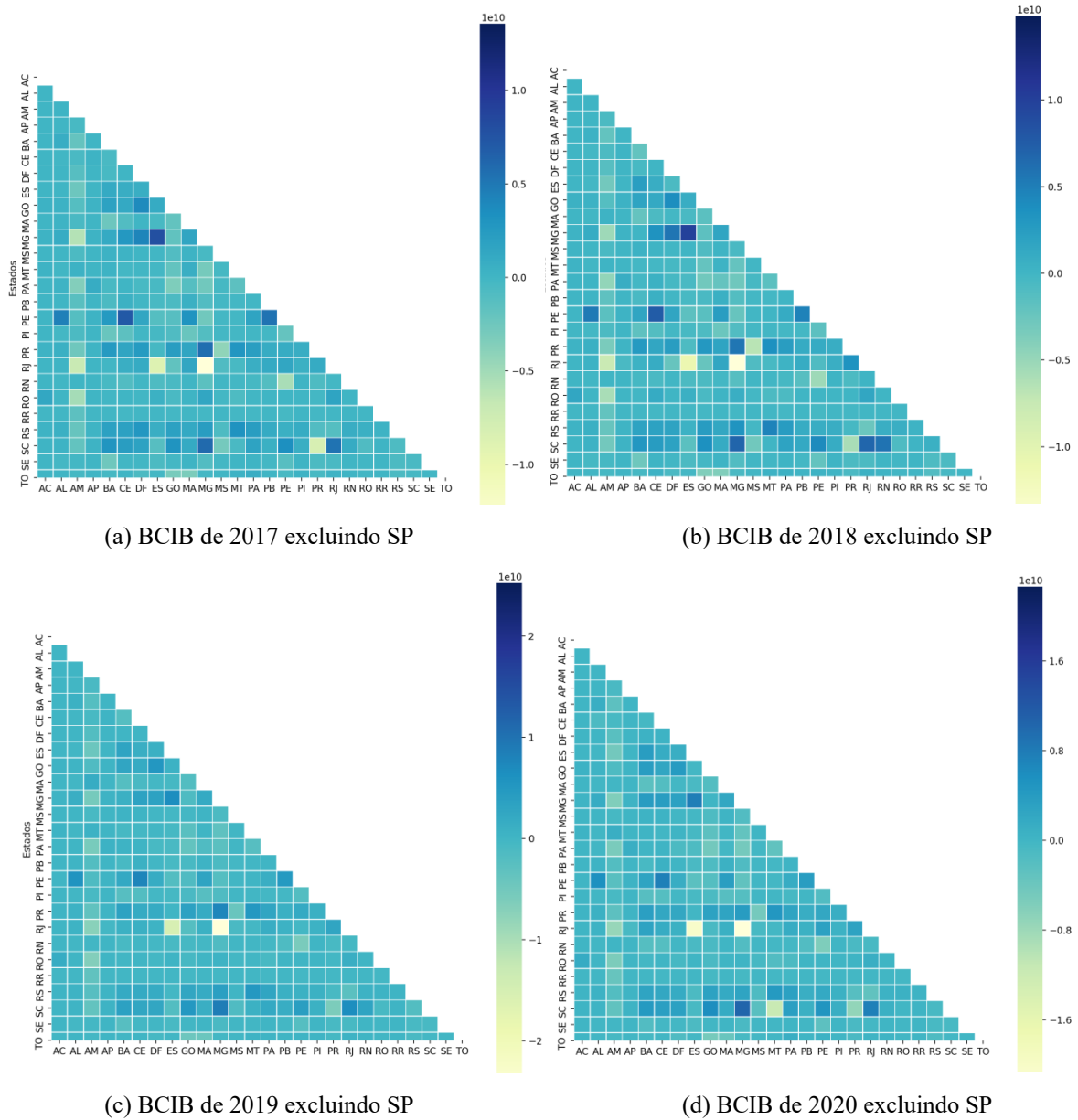
relativamente menor, cercando a escala zero indicada ao lado direito da figura 3. Analisando a base de dados, estes valores variam desde centena de milhar ( $10^5$ ) até unidade de bilhão ( $10^9$ ), abarcando saldos positivos e negativos (superávit e déficit comercial, respectivamente).

As cores escuras nos indicam transações de magnitude relativamente alta (em média, destacam-se de azul escuro os valores acima de cinco bilhões de reais ( $10^9$ ) ou, de acordo com a escala,  $0,5 * 10^{10}$ ), e em sinal positivo (superávit das UF-linha).

Paralelamente, as células em amarelo também indicam valores relativamente altos em reais, mas representam déficits comerciais das UF-linhas. A escala de valor varia de acordo com os valores máximos transacionados, na escala de dezena de bilhão ( $10^{10}$ ).

Como podemos analisar nos *heatmaps* acima, as representações de cor estão muito similares, destacando-se o Estado de SP como um *outlier* superavitário das transações comerciais (exceto com Santa Catarina e Amazonas). Salvo pequenas exceções, o Estado de SP impede uma melhor visualização dos dados por apresentar um nível de transações significativamente maior às outras UF – estando envolvido ao menos nas quatro maiores transações de todos os anos analisados. Recortando esta UF, temos o *heatmap* que se segue (figura 4).

**Figura 4 - BCIB de (a) 2017; (b) 2018; (c) 2019 e (d) 2020 sem SP.**

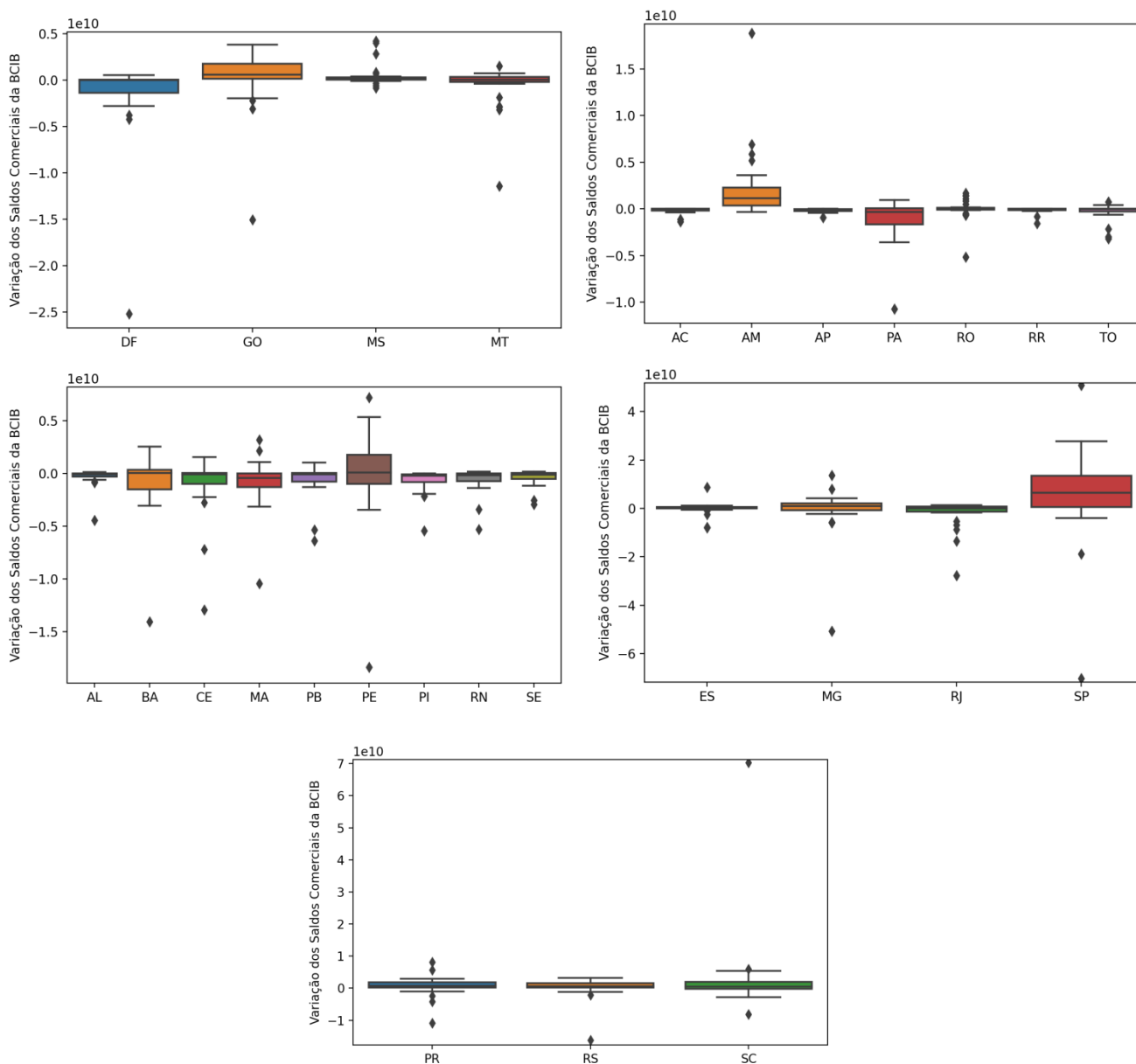


Fonte: elaborado pela autora.

Note que, com a retirada de SP, a escala dos valores é reduzida em todos os anos, mas permanece na escala de dezena de bilhões de reais ( $10^{10}$ ). Alguns Estados se destacam como superavitários em algumas transações interestaduais, como MG, PE, PR, RS e SC. Outros Estados se destacam com transações deficitárias, como é o caso do RJ e de RN, RO e SC para alguns anos e parceiros específicos.

O *boxplot* abaixo (figura 5) agrega os saldos da Balança Comercial de cada UF para o ano de 2017 e os classifica por região. Com essa representação, podemos comparar regionalmente as transações médias e os *outliers* de cada UF e seus 26 parceiros comerciais.

**Figura 5 - Boxplot dos Saldos Comerciais Interestaduais por UF em 2017, seccionada por região.**



Fonte: elaborado pela autora.

No Centro-Oeste, podemos ver que Goiás é o Estado com maior dispersão dos dados e também com maior mediana. Uma característica interessante desta UF é que seu primeiro quartil parece ser superior ao terceiro quartil de todas as outras UF oeste-centristas. Isso significa que 75% das suas transações superavitárias estão acima de pelo menos 75% dos menores saldos positivos do Distrito Federal, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

No Nordeste, Pernambuco é o Estado com maior dispersão de dados e o mais expressivo em termos de superávit comercial. O Maranhão, Ceará, Bahia também apresentam relativa alta

dispersão quando comparados com as UF nordestinas. Esta é a região com maior presença de *outliers*.

Na região Norte do país, o Amazonas se destaca tanto em termos de superávit mediano como em *outliers* superavitários. O Pará destacou-se em termos de déficit comercial.

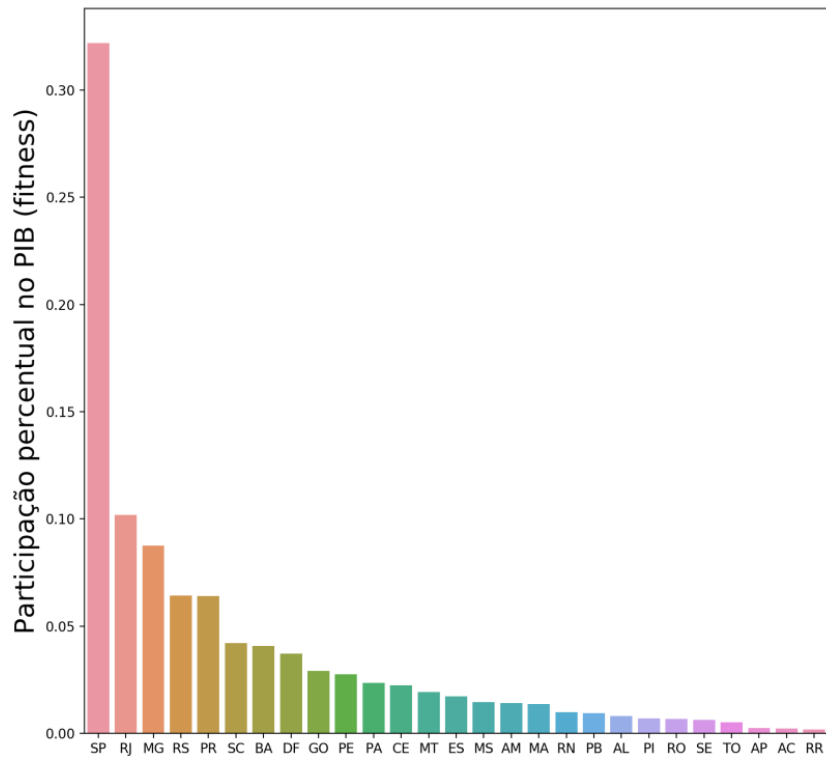
Como já visto anteriormente, São Paulo se destaca na rede completa e também assume esta característica na região Sudeste. Apresenta maior dispersão, maior mediana e o maior *outlier* superavitário. O primeiro quartil deste Estado também parece estar acima do terceiro quartil dos outros Estados da região. O Rio de Janeiro é o Estado desta região com maior quantidade de *outliers* deficitários.

Por fim, a região Sul apresenta maior uniformidade de distribuição de dados, com exceção de um atípico *outlier* em Santa Catarina – que corresponde ao comércio com SP, maior valor transacionado na rede de 2017, única célula branca da figura 3(a). Os Estados que apresentam menor dispersão de dados são AC, RR e AP.

Ambas as representações anteriores (*heatmap* e *boxplot*) nos permite ter uma visualização limitada das informações, por darem enfoque em díades de UF de forma separada e não tratarem das diferentes dimensões de integração e conectividade. Utilizando métricas de rede, podemos explorar sob uma ótica mais detalhada as características do comércio inter-regional brasileiro.

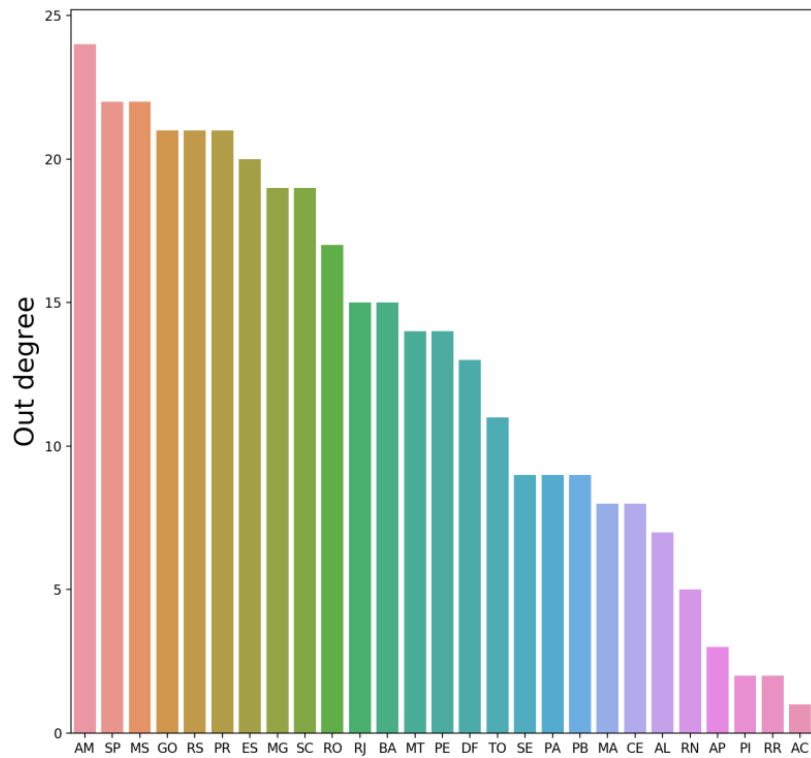
As figuras a seguir (figuras 6 a 9) nos indicam alguns *rankings* das Unidades Federativas, para o ano de 2017. A figura 6 representa um *ranking* da participação no PIB dos Estados e DF. A figura 7 nos indica um *ranking* do grau de saída (*out-degree*), ou seja, da quantidade de parceiros comerciais cuja UF foi superavitária em 2017. Em seguida, nas figuras 8 e 9, são construídas duas medidas de força: o saldo da balança comercial total para cada UF e as somas dos superávits de cada UF. De forma análoga, estas medidas de força simulam respectivamente as exportações líquidas e brutas no caso do comércio internacional – neste caso aplicado para o nível de escala doméstico.

**Figura 6 - Participação percentual no PIB por UF em 2017.**



Fonte: elaborado pela autora.

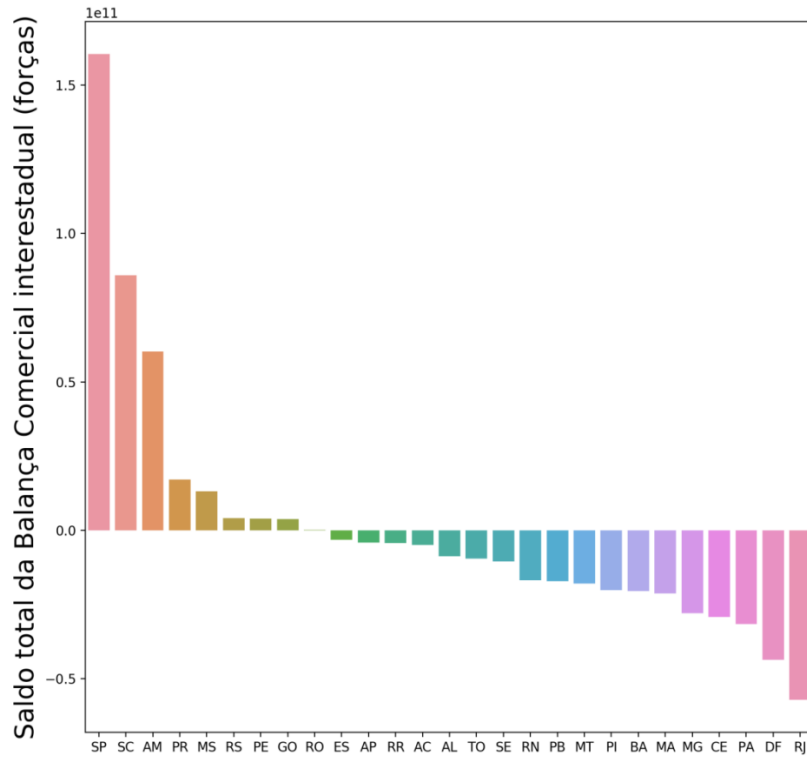
**Figura 7 - Grau de saída (*out-degree*) por UF em 2017.**



Fonte: elaborado pela autora.

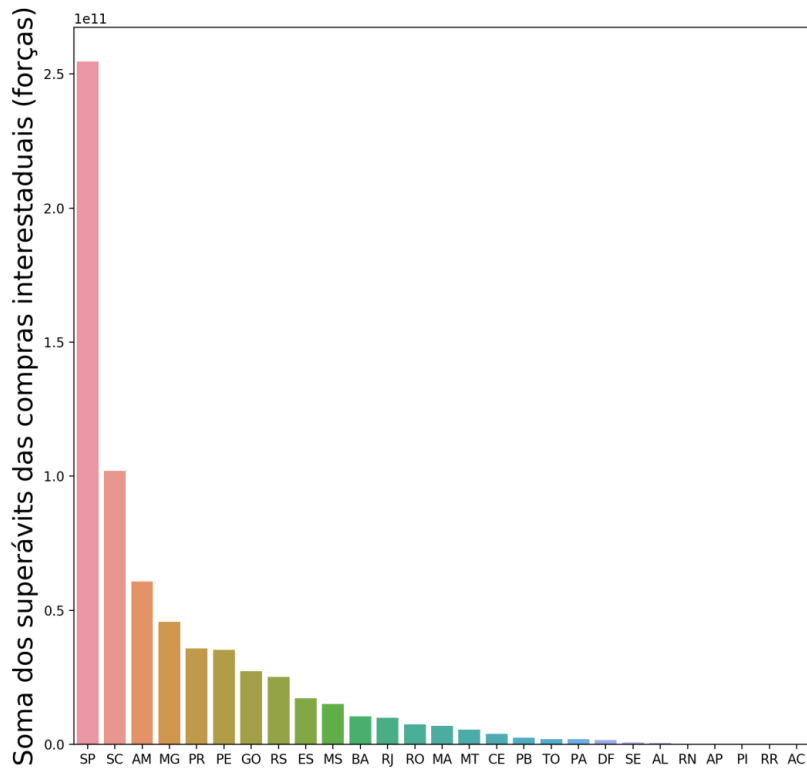


**Figura 8 - Saldo total da BCIB, por UF, em 2017 (vendas ou “exportações” líquidas).**



Fonte: elaborado pela autora.

**Figura 9 - Soma dos superávits comerciais, por UF, em 2017 (vendas ou “exportações” brutas)**



Fonte: elaborado pela autora.

Analisando primeiramente as relações de força, podemos notar que São Paulo, Santa Catarina e Amazonas são os Estados que apresentam maior saldo comercial (figura 8), além dos maiores superávits em sua Balança Comercial (figura 9). Amazonas e São Paulo, acompanhados do Mato Grosso do Sul, são os Estados com maior número de parceiros cujo comércio é superavitário (figura 7), enquanto Santa Catarina concentra seu superávit em menos de 20 parceiros comerciais, estando em nono lugar no ranking de grau de saída (*out-degree*). Ao avaliar o PIB destes Estados, vemos que SP representou 32% do PIB brasileiro em 2017; SC representou menos de 5% e o Estado de Amazonas encontra-se abaixo da média das UF, em 1,4% do PIB (figura 6).

O caso de AM destaca-se provavelmente pelo sucesso da Zona Franca de Manaus, um polo industrial importante fiscalizado pelo SUFRAMA. Apesar de não ter muita participação no PIB, é o Estado com maior número de relações positivas de troca, visto que apresentou comércio deficitário com somente dois Estados no ano em questão.

Por outro lado, o Estado do Rio de Janeiro, o Distrito Federal e o Pará foram as Unidades Federativas com maior déficit comercial interestadual em 2017 (figura 8). Estas UF não representam expressiva soma de superávits comerciais quando colocadas lado a lado conforme o terceiro gráfico (figura 9). Entretanto, é essencial ressaltar que a escala é apresentada na ordem de  $10^{11}$ , ou seja, em centena de bilhões de reais. O RJ foi superavitário em 15 de suas 26 relações de comércio (grau de saída), nos indicando que suas compras das outras 11 UF tendem a apresentar grande magnitude de valor. Paralelamente, este Estado é o segundo maior contribuinte ao PIB brasileiro em cerca de 10%.

Os Estados do Acre e de Roraima também se sobressaem, por apresentarem os menores PIB estaduais (figura 6) e os menores graus de saída (figura 7). No ano de 2017, o Acre teve superávit comercial somente com o próprio Estado de Roraima. Este, por sua vez, apresentou superávit somente com Piauí e o Rio Grande do Norte. Entretanto, esses dois Estados (AC e RR) apresentaram resultados significativamente melhores do que a maioria das Unidades Federativas com saldo deficitário na Balança Comercial interestadual (figura 8).

É necessário que a figura 7 seja enfatizada, por nos mostrar que a rede de comércio BCIB apresenta, similarmente, a primeira das duas observações empíricas identificadas na rede de comércio internacional WTW, explorada por Garlaschelli e Loffredo. Em ambas as bases de dados há uma relação aproximada entre o grau de entrada e o grau de saída da rede (equação 7), ou seja, há aproximadamente a mesma quantidade de arestas de entrada e de saída quando analisamos todas as arestas da BCIB.

Podemos afirmar isso visto que o gráfico da figura 7 é decrescente e tende a seguir a diagonal principal: enquanto o AM apresentou 24 transações comerciais cujo comércio foi superavitário (somente 2 relações deficitárias) em 2017, o AC, última Unidade Federativa do gráfico, apresentou somente 1 relação superavitária (25 transações comerciais cujo saldo foi deficitário) neste mesmo ano. Dessa forma, podemos afirmar que a equação 7 é uma observação válida também para o caso do comércio doméstico brasileiro.

$$k_i^{in}(t) \approx k_i^{out}(t) \quad \forall i, t \quad (7)$$

A segunda observação empírica constatada pelos autores é a equação 9, auferindo que há relação linear entre o grau recíproco  $\vec{k}_i$  e o grau total da rede  $k_i^T(t) - r(t)$  é a taxa de reciprocidade.

$$\vec{k}_i(t) \approx \frac{r(t)}{2} k_i^T(t) \quad (9)$$

Essa observação também é cumprida, uma vez que não há grau recíproco na rede. As informações contidas na nossa matriz – que dá origem à rede – são os saldos das transações entre as UFs. Isso significa que já é o vetor resultante das vendas e compras entre cada dupla de UFs, fazendo com que cada aresta seja única e sem possibilidade de reciprocidade. Como o grau recíproco e a taxa de reciprocidade são nulos, a equação anterior para os dados do Brasil ficaria da seguinte maneira:

$$0 \approx \frac{0}{2} k_i^T(t) \quad (9')$$

Equação esta que é verdadeira. Dessa forma, auferimos que ambas as observações foram cumpridas, permitindo-nos, então, a demonstração do sistema de equações para o caso do Brasil e a aplicação do método.

$$b_{ij} \equiv a_{ij} + a_{ji} - a_{ij}a_{ji} \quad (3)$$

$$b_{ij} \equiv a_{ij} + a_{ji} - 0 = 27 \quad \forall i, t \quad (3')$$

$$k_i(t) = k_i^{in}(t) + k_i^{out}(t) - \vec{k}_i(t) \quad (5)$$

$$k_i(t) = k_i^{in}(t) + k_i^{out}(t) - 0 = 27 \quad \forall i, t \quad (5')$$

$$\vec{k}_i(t) \equiv \sum_{j=1}^{N(t)} a_{ij} a_{ji}(t) = 0 \quad (6')$$

$$k_i^{in}(t) \approx k_i^{out}(t) \quad \forall i, t \quad (7)$$

$$k_i^T(t) \equiv k_i^{in}(t) + k_i^{out}(t) \quad (8)$$

$$\vec{k}_i(t) \approx \frac{r(t)}{2} k_i^T(t) = \frac{0}{2} k_i^T(t) = 0 \quad (9')$$

$$r(t) \equiv \frac{\vec{L}(t)}{L(t)} = \frac{0}{27*26} = 0 \quad (10')$$

$$k_i^{in}(t) \approx k_i^{out}(t) \approx \frac{k_i^T(t)}{2} \approx \frac{27}{2} \quad (11')$$

$$L(t) = \sum_{i=1}^{N(t)} k_i^{in}(t) = \frac{1}{2-r(t)} \sum_{i=1}^{N(t)} k_i(t) = \frac{2}{2-r(t)} L^u(t) \quad (12)$$

$$L(t) = \sum_{i=1}^{N(t)} k_i^{in}(t) = \frac{1}{2-0} \sum_{i=1}^{N(t)} k_i(t) = \frac{2}{2-0} L^u(t) \quad (12')$$

$$K_i^{nn} = \frac{1}{k_i} \sum_j b_{ij} k_j \quad (13)$$

$$C_i = \frac{1}{(k_i(k_i-1))} \sum_{j \neq i} \sum_{k \neq i, j} b_{ij} b_{jk} b_{ki} \quad (14')$$

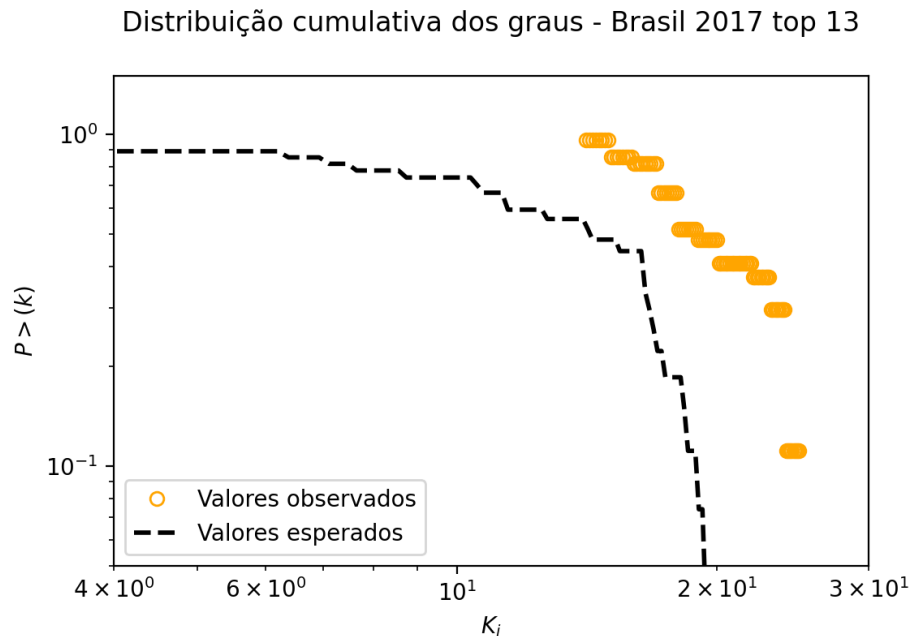
É importante ressaltar que estas medidas são aplicadas pelos autores em um grafo binário e não direcionado. Entretanto, há uma importante diferença no que se diz respeito aos dados a serem utilizados nesta dissertação: a BCIB de 2017 é um grafo completo (ou seja, todos os vértices da rede se conectam por arestas entre si).

Por este motivo, os resultados do método para a BCIB completa é similar para todos os elementos da rede. O grau de todos os vértices é igual a 26, dado que temos 27 Unidades Federativas e, por se tratar do comércio interestadual, nenhuma UF transaciona consigo mesma. As métricas de  $K_i^{nn}$  se igualam a 26 para todos os vértices-UF, pois a média de conexões dos 26 parceiros comerciais também é 26. De forma similar, o coeficiente de clusterização também é igual para todos em valor 1 – há 100% de probabilidade de formar triangulações.

Dessa forma, é necessário que façamos um recorte na rede para que ela deixe de ser completa. Selecionamos, então, metade da rede para esta avaliação: as treze (13) maiores transações de cada UF, sendo então uma sub-rede top 13. Este recorte também cumpre as premissas necessárias.

Isto posto, podemos calcular as três métricas topológicas para a Balança Comercial Interestadual do Brasil. A seguir, serão plotadas as três métricas observadas nos dados empíricos da BCIB de 2017, sobrepostos aos valores esperados construídos a partir da probabilidade de conexão comercial com a utilização dos valores fitness (participação no PIB do Brasil).

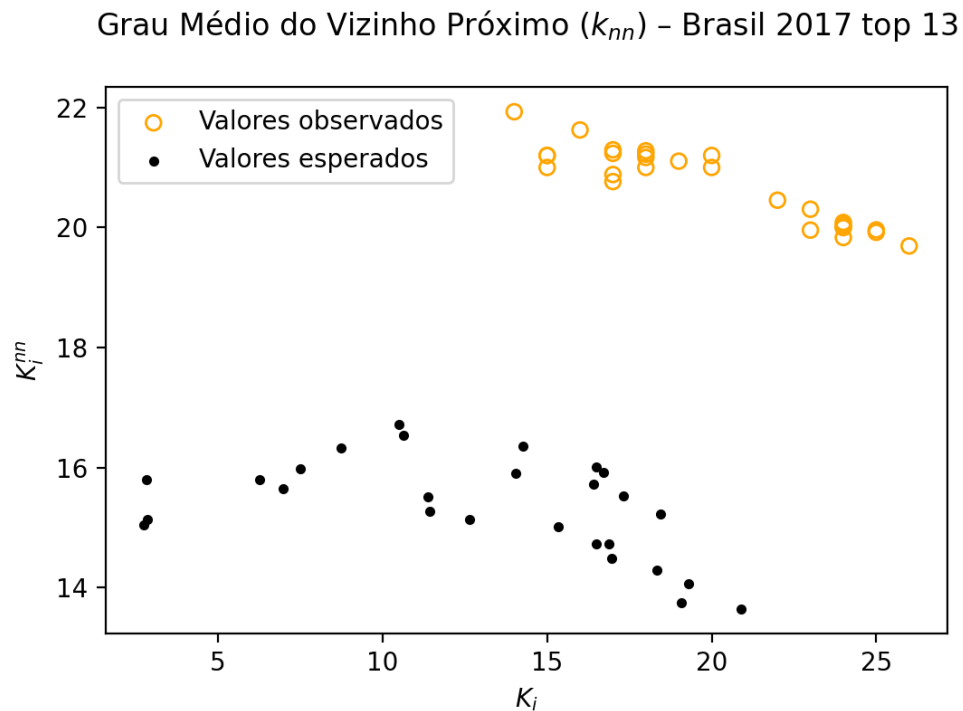
**Figura 10 – Propriedade Topológica de Primeiro grau: Distribuição Cumulativa de Grau**



A Função de Distribuição Acumulada (ou cumulativa) nos indica a probabilidade de uma variável aleatória  $X$  assumir valores menores ou iguais a  $x$ . A figura 10 foi plotada como sendo 1-fda, então a leitura é que quanto menor o grau  $K_i$ , maior é a probabilidade deste grau assumir valores maiores ou iguais a  $k$ . Para graus  $K_i$  pequenos, há alta probabilidade de existirem vértices com maior grau. Para graus  $K_i$  altos, há baixa probabilidade de existirem vértices-UF com graus ainda maiores.

O formato decrescente da função esperada é similar ao formato da função observada, mas estes são superestimados quando comparados com os valores esperados.

**Figura 11 – Propriedade Topológica de Segundo Grau: Average Nearest Neighbour Degree**



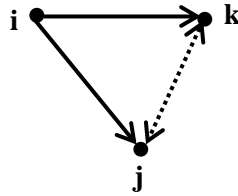
Fonte: elaborado pela autora

A figura 11 apresenta uma discrepância significativa entre os valores esperados e observados. Há uma tendência decrescente quanto aos valores observados. Isso significa dizer que quanto maior o grau  $K_i$  dos vértices da BCIB, menor é o grau dos seus vizinhos, em média. Unidades Federativas com muitos parceiros comerciais tem seus parceiros, em média, menos conectados. Isso faz com que a rede de comércio entre os Estados e DF seja uma rede dissassortativa, resultado similar encontrado para o caso do mundo por Garlashelli e Loffredo.

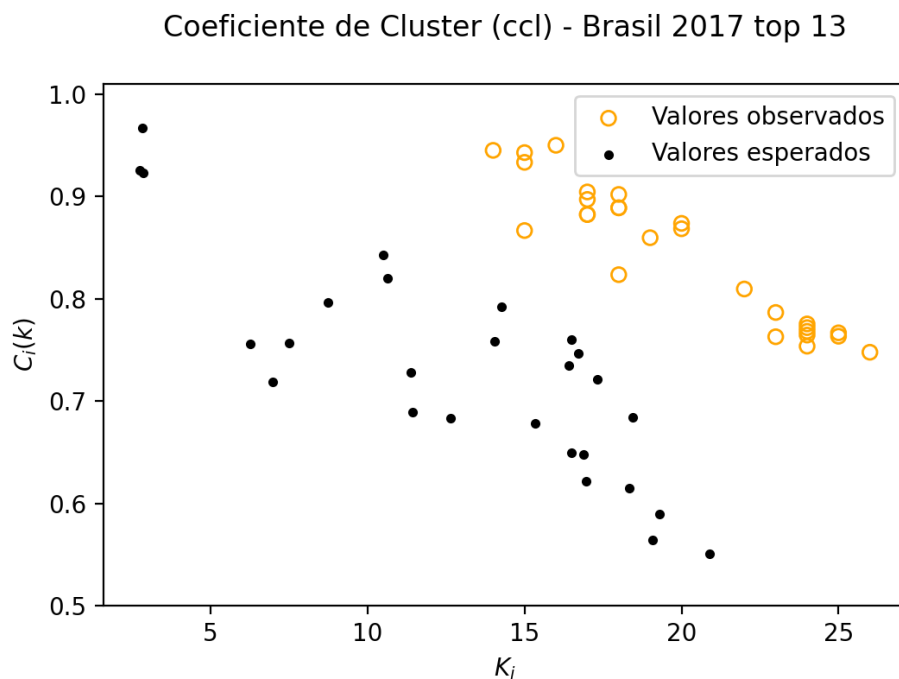
Ao avaliarmos os valores esperados, há uma tendência também decrescente para valores de grau acima de 10 – previsão realizada a partir da probabilidade de conexão a partir do PIB das UF (variável *fitness*). Entretanto, esta modelagem indicou valores subestimados tanto para o grau  $k$  como para o  $K_i^{nn}$ .

Além disso, os valores esperados preveem graus  $K_i$  abaixo de 14, valores não encontrados nos dados observados top 13 quando analisamos sob uma perspectiva não direcionada. Quando analisamos de maneira sistêmica, o recorte dos treze saldos comerciais mais fortes para a UF  $i$  (de maneira predecessora) é sempre maior do que treze. Isso acontece porque, sob uma perspectiva não direcionada, há casos em que a UF  $i$  está contida nos top 13 da UF  $j$  sem que  $j$  esteja nos top 13 de  $i$ . Neste cenário,  $ji$  apresentam conexão mesmo que  $j$  não faça parte do top 13 de  $i$  (de maneira sucessora).

O Coeficiente de Cluster, por sua vez, calcula a probabilidade de formação de triangulações (dado o vértice  $i$ , calcula a probabilidade de haver conexão entre  $j$  e  $k$ ) com relação a todos os vizinhos de  $i$  ( $ij$  e  $ik$ , no exemplo a seguir), para cada vértice  $i$ .



**Figura 12 - Propriedade Topológica de Terceiro Grau: Coeficiente de Clusterização**



Fonte: elaborado pela autora

A figura 12 nos indica uma tendência também decrescente para ambos os valores esperados e observados, em conformidade com os resultados de Garlashedi e Loffredo (2005). Quanto maior o grau do vértice, menos triangulações – ou clusters – aparecem na rede. Essa afirmativa é verdadeira para os valores observados e também para a modelagem teórica, que utiliza da variável fitness (PIB dos Estados e DF) como *input*. Esta propriedade é referida como hierarquia em Teoria de Redes.

## Capítulo 4

### Resultados e discussão

#### 4.1. Resultados

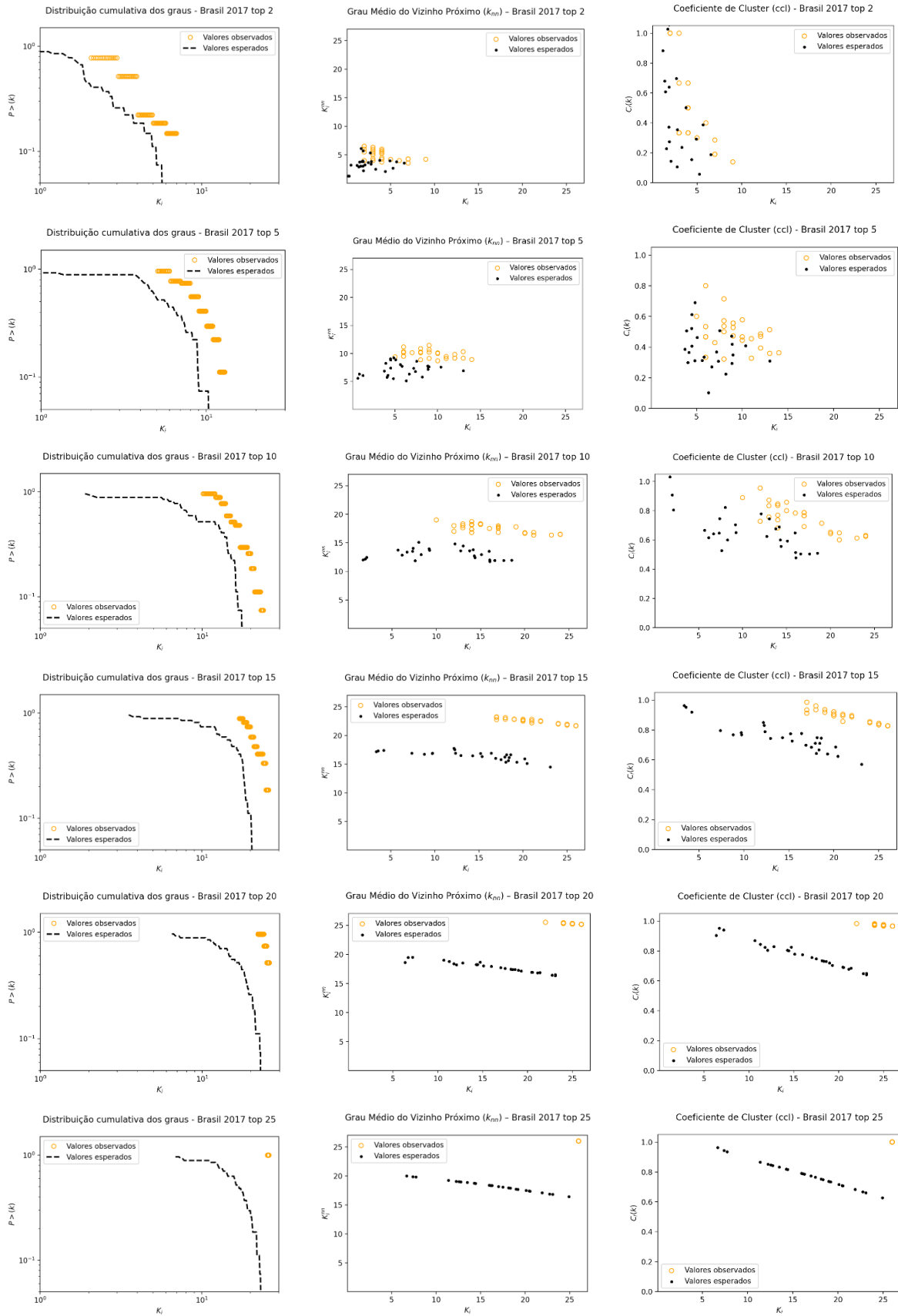
A topologia observada da Balança Comercial Interestadual do Brasil (em outros termos, a conectividade comercial) não pode ser descrita com acurácia a partir da variável *Fitness* PIB Estadual. Apesar de o formato das funções estar em consonância, a distribuição acumulativa de grau observada está acima da esperada para todos os graus  $k$  possíveis.

A segunda métrica apresenta o mesmo padrão de subestimação de valores esperados quando comparados com os dados empíricos, tanto para o grau  $K_i$  como para  $K_i^{nn}$ . Como ocorreu na primeira, apresentam um comportamento decrescente para ambas as categorias, estando em conformidade com os resultados dos autores. Quanto maior o número de parceiros comerciais que uma UF apresenta, menos conectados são os seus vizinhos (em média). Quanto à terceira métrica, há um nível observado de cluster também superior ao previsto pelo método *Fitness*.

Os resultados descritos anteriormente foram derivados do recorte da sub-rede top 13 ( $\alpha = 13$ ). O valor deste parâmetro pode ser alterado, permitindo-nos avaliar o resultado para diferentes recortes da rede. A figura 13 mostra estes resultados. Cada coluna representa uma métrica topológica e o parâmetro  $\alpha$  assume diferentes valores para cada linha (respectivamente: 2, 5, 10, 15, 20 e 25).



**Figura 13 – Resultados para diferentes parâmetros ( $\alpha = 2; 5; 10; 15; 20; 25$ )**



Por definição, o aumento do valor do parâmetro aumenta o tamanho da sub-rede, fazendo com que o valor de  $K_i$  também acompanhe este aumento. A distribuição cumulativa de grau observada tem sua dispersão diminuída com o aumento do parâmetro  $\alpha$ , até o limite superior de 26 – que é o cenário da rede completa, sem recorte.

A segunda métrica,  $K_i^{nn}$ , assume valores baixos e próximos de 5 para  $\alpha$  baixos e apresenta um comportamento crescente até o limite superior de 26 para o caso da rede completa. Com o aumento do parâmetro, a dispersão dos dados observados também aumenta até certo ponto e volta a diminuir até concentrar-se em 26.

A terceira métrica, referente ao coeficiente de *cluster*, também apresenta um comportamento crescente com o aumento do parâmetro e a dispersão é inversamente proporcional a este aumento de  $\alpha$ . Para todos os casos, o resultado observado é único para a rede completa: a distribuição cumulativa é 1; o grau médio do vizinho próximo é 26, indicando que os vértices-UF conectados também se conectam com todas as outras 26 UF e o coeficiente de cluster é igual a 1, indicando que há 100% de probabilidade de triangulações para a rede completa.

$$P > k = 1 \tag{21}$$

$$\tilde{K}_i^{nn}(2017) = 26 \tag{22}$$

$$\tilde{C}_i(2017) = 1 \tag{23}$$

## 4.2. Discussão

O problema de superestimação dos valores esperados nas figuras 10, 11, 12 e 13 pode estar vinculado a uma diferença técnica entre os dados utilizados pelos autores com os dados da presente pesquisa. Enquanto Garlaschelli e Loffredo (2005) utilizaram informações de exportação e importação brutas, utilizamos informações de saldo comercial – o que seria análogo às exportações líquidas.

Como mencionado anteriormente, isso nos impede de detectar a presença de graus recíprocos, visto que as informações aqui utilizadas são o resultado destas eventuais transações recíprocas. Isso não impede a aplicação da metodologia, dado que as premissas necessárias foram cumpridas – mas há uma perda de informação inerente ao processo.

O formato dos dados disponibilizados pela CONFAZ (em saldo) é uma limitação que nos impede o acesso a esse nível de informação mais detalhado. Em nível Estadual e Distrital, as informações de comércio entre as UF são discriminadas no detalhamento desejado, em termos de “exportação” bruta, mas não incluem informação do destino do comércio. Os dados são agregados mostrando o total “exportado” para e “importado” de cada UF, impossibilitando a construção de díades de UF com estes dados – ponto central para a aplicação da presente metodologia.

Outro fator que pode justificar esta discrepância é a diferença de magnitude dos dados. Enquanto a base de dados utilizada pelos autores está na ordem de grandeza de 190 (países), a BCIB utiliza 27 (UF).

O resultado superestimado de *clusters* em particular está em consonância com a história da formação da Economia Brasileira, onde há uma presença muito forte de polos industriais em certas localidades e concentração de renda. Estes fatores geram um alto nível de “clusterização” de comércio entre regiões específicas.

Os planos de desenvolvimento atuaram de maneira a reduzir os custos de penetração em certas economias regionais, o que é reconhecido no fato de que a rede da BCIB é completa para todos os anos analisados. Entretanto, a concentração de riqueza, as atividades econômicas e o comércio entre os Estados e DF permanecem mais concentrados e “clusterizados”, conforme resultados.

## Capítulo 5

### Conclusão

Conclui-se que os valores esperados, construídos em função do PIB dos Estados e DF (variável *fitness*) explicam parcialmente os dados empíricos da Balança Comercial Interestadual Brasileira para o ano de 2017. Ao passo que há uma discrepância dos dados em termos de subestimação dos valores esperados, o formato das plotagens é similar para as duas categorias avaliadas.

Uma sugestão de continuidade da pesquisa é fazer uma análise longitudinal e evolucionista do sistema, visto que a presente análise concentrou-se nos dados do ano de 2017. Na figura 3, vimos que os dados para 2017-2020 não sofrem mudanças muito abruptas, mas uma característica central da dinâmica de Sistemas Complexos é a alta sensibilidade às condições iniciais. Pequenas alterações podem gerar resultados significativamente diferentes e a análise da evolução temporal para os anos recentes pode trazer *insights* importantes para o entendimento da Economia Brasileira.

Outra hipótese que pode fomentar a continuidade da pesquisa é a utilização de dados referentes às mesorregiões do Brasil, o que gera uma aproximação da ordem de grandeza dos dados, visto que o Brasil hoje apresenta o total de 137 mesorregiões. Uma análise evolucionista e comparativa tem grande potencial para a geração de *insights* sobre as características do comércio doméstico brasileiro.

## Referências Bibliográficas

- Beaton, M. K., Cebotari, A., Ding, X., & Komaromi, A. (2017). *Trade Integration in Latin America: A Network Perspective*. International Monetary Fund.
- Bianconi, G. (2005). Emergence of weight-topology correlations in complex scale-free networks. *EPL (Europhysics Letters)*, 71(6), 1029.
- Bianconi, G., Pin, P., & Marsili, M. (2009). Assessing the relevance of node features for network structure. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(28), 11433-11438.
- Bianconi, G., & Barabási, A. L. (2001). Competition and multiscaling in evolving networks. *EPL (Europhysics Letters)*, 54(4), 436.
- Boccaro, N. (2010). *Modeling complex systems*. Germany: Springer Science & Business Media.
- Boschma, R., & Iammarino, S. (2009). Related variety, trade linkages, and regional growth in Italy. *Economic geography*, 85(3), 289-311.
- Caldarelli, G., Capocci, A., De Los Rios, P., & Munoz, M. A. (2002). Scale-free networks from varying vertex intrinsic fitness. *Physical review letters*, 89(25), 258702.
- Caldarelli, G., & Chessa, A. (2016). *Data science and complex networks: real case studies with Python*. United Kingdom: Oxford University Press.
- De Benedictis, L., & Tajoli, L. (2011). The world trade network. *The World Economy*, 34(8), 1417-1454.
- DeE Mattos, M. *Pólos tecnológicos: um estudo de caso*. - Belo Horizonte: Cedeplar, 1990.
- Diniz, C. C. (1993). Desenvolvimento poligonal no Brasil: nem desconcentração, nem contínua polarização. *Nova Economia*, 3(1). Recuperado de <https://revistas.face.ufmg.br/index.php/novaeconomia/article/view/2306>
- Diniz, C. C. (1995). A dinâmica regional recente da economia brasileira e suas perspectivas. Rio de Janeiro: IPEA, 1995. (*Texto para Discussão*, 375)
- Fagiolo, G., Reyes, J., & Schiavo, S. (2008). On the topological properties of the world trade web: A weighted network analysis. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 387(15), 3868-3873.
- Fagiolo, G., Reyes, J., & Schiavo, S. (2009). World-trade web: Topological properties, dynamics, and evolution. *Physical Review E*, 79(3), 036115.
- Feenstra, R. C. (2018). Alternative sources of the gains from international trade: Variety, creative destruction, and markups. *Journal of Economic Perspectives*, 32(2), 25-46.
- Galvão, O. J. (1999). Comércio interestadual por vias internas e integração regional no Brasil: 1943-69. *Revista Brasileira de Economia*, 53(4), 523-558.

Garlaschelli, D., & Loffredo, M. I. (2004). Fitness-dependent topological properties of the world trade web. *Physical review letters*, 93(18), 188701.

Garlaschelli, D., & Loffredo, M. I. (2004). Patterns of link reciprocity in directed networks. *Physical review letters*, 93(26), 268701.

Garlaschelli, D., & Loffredo, M. I. (2005). Structure and evolution of the world trade network. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 355(1), 138-144.

Gladwell, M. (2006). *The tipping point: How little things can make a big difference*. Little, Brown.

Gleditsch, K. S. (2002). Expanded trade and GDP data. *Journal of Conflict Resolution*, 46(5), 712-724.

Hartmann, D., Guevara, M. R., Jara-Figueroa, C., Aristarán, M., & Hidalgo, C. A. (2017). Linking economic complexity, institutions, and income inequality. *World Development*, 93, 75-93.

Hidalgo, C. (2015). *Why information grows: The evolution of order, from atoms to economies*. Basic Books.

<https://www.uboeschstein.ch/texte/HidalgoWhyInformationGrows.pdf>

Hidalgo, C. A., Klinger, B., Barabási, A. L., & Hausmann, R. (2007). The product space conditions the development of nations. *Science*, 317(5837), 482-487.

Hidalgo, A. B., & Vergolino, J. R. (1998). O nordeste e o comércio inter-regional e internacional: um teste dos impactos por meio do modelo gravitacional. *Economia Aplicada*, 2(4), 707-725.

Hidalgo, C. A., & Hausmann, R. (2009). The building blocks of economic complexity. *Proceedings of the national academy of sciences*, 106(26), 10570-10575.

Magalhães, A. S., & Domingues, E. P. (2008). Relações interestaduais e intersetoriais de comércio no Brasil: uma análise gravitacional e regional. *Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos*, 2(1).

Maynard Smith J., *Models in Ecology* (Cambridge, UK: Cambridge University Press 1974)

Mitchell, M. (2009). *Complexity: A guided tour*. New York: Oxford University Press

Neffke, F., Henning, M., & Boschma, R. (2011). How do regions diversify over time? Industry relatedness and the development of new growth paths in regions. *Economic geography*, 87(3), 237-265.

NIT. Implantação de parques tecnológicos na América Latina. A Experiência brasileira. - Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 1988

Sayama, H. (2015). *Introduction to the modeling and analysis of complex systems*. Open SUNY Textbooks.

Schumpeter, J. A. (1942). *Socialism, capitalism and democracy*. Harper and Brothers.

Serrano, M. A., & Boguná, M. (2003). Topology of the world trade web. *Physical Review E*, 68(1), 015101.

Solé, R. (2011). *Phase Transitions*. Editorial Advisory Board. Princeton University Press.

Vasconcelos, J. R. e Oliveira, A. M. Análise da matriz por atividade econômica do comércio interestadual no Brasil - 1999. Rio de Janeiro: IPEA, 2006. (*Texto para Discussão, 1159*).

Vasconcelos, J. R. Matriz do Fluxo de Comércio Interestadual de Bens e Serviços no Brasil - 1999. Rio de Janeiro: IPEA, 2001. (*Texto para Discussão, 817*).