

Setores centrais nas redes de produção da economia brasileira

Angelo Salton *

Ian M. Trotter †

Área 10 - Economia Regional e Urbana

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo caracterizar a estrutura produtiva e identificar setores centrais na economia brasileira como uma rede de atividades. Combinando a metodologia de redes complexas com dados da matriz insumo-produto de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas e dados da matriz insumo-produto inter-regional de Haddad, Júnior e Nascimento (2017) para 2011, é possível descrever as interdependências entre recursos e usos empregados pelos setores da economia na produção de bens intermediários e finais, além de verificar como choques nos vetores de demanda final e valor bruto da produção se propagam em toda a economia. Os resultados apontam para o comércio por atacado e varejo, serviços financeiros e transportes terrestres como setores centrais na análise nacional, além de enfatizar a importância das atividades ligadas ao setor alimentício e científicas/técnicas nas unidades federativas.

Palavras chave: redes, produção, insumo-produto.

Códigos JEL: C67, D57, C45.

Abstract

This work aims to characterize the Brazilian economy productive structure as an activity network. Using networks analysis methods, 2010 national input-output matrix data from the Brazilian statistics bureau (IBGE) and 2011 sub-national matrices from Haddad, Júnior and Nascimento (2017), we were able to describe the interdependence among resources employed by sectors in the production of intermediate and finished goods, and also verify how shocks in final demand and gross production vectors impact the whole economy. Results show that retail and wholesale trade, financial services and land transportation are key sector in the Brazilian economy. In the sub-national approach, activities linked to the food industry and skilled labor were found to be key transmitters of economic fluctuations.

Keywords: networks, production, input-output.

JEL Codes: C67, D57, C45.

*Doutorando em Economia Aplicada pelo PPGEA/UFV. E-mail: angelo.salton@ufv.br

†Professor Titular do PPGEA/UFV. E-mail: ian.trotter@ufv.br

1 Introdução

Este trabalho tem como objetivo descrever a economia brasileira como uma rede complexa de atividades a partir de matrizes de insumo-produto nacionais e sub-nacionais, bem como o impacto de choques que emergem de algum setor em toda a economia. O trabalho se desenvolve sobre uma literatura emergente que trata da importância de entender o efeito de choques econômicos em níveis mais desagregados, e sua propagação em economias que estão cada vez mais integradas e interdependentes. Esta discussão ganhou ainda mais relevância à partir da crise financeira de 2008, quando o resgate aos grandes bancos foi justificado por um temor de que a falência dessas instituições causaria corridas aos bancos e efeitos cascata nos setores reais da economia. Quantificar o impacto desses efeitos significa compreender o quão conectados os diferentes setores da economia de fato estão. Como lembra Carvalho (2014), à época da crise de 2008, marcas da indústria automobilística norte-americana como Ford, General Motors, Chrysler pediram socorro financeiro não apenas à si mesmas, mas também à seus concorrentes, com o argumento de que linhas de produção seriam rapidamente interrompidas em caso de quebra das marcas concorrentes. Através dos efeitos cascata, mostra-se que nem sempre um determinado setor da economia é o mais importante pois movimenta o maior número de recursos, ou o que gera o maior valor adicionado, mas sim o fato de que pode existir um aglomerado de setores que podem rapidamente transmitir flutuações econômicas.

Um ponto de partida comum das análises de economias como redes está nas matrizes de insumo-produto, que sintetizam as relações entre os setores produtivos de uma economia. Um setor produtivo pode produzir a partir de seus próprios insumos, ou obtendo-os de outros setores. Ao representar economias como redes complexas, definem-se os setores como *vértices* e os fluxos de insumos intermediários como *ligações* dessas redes. Com esse ferramental, é possível impactos de flutuações em setores específicos, definir métricas de centralidade, medidas objetivas de complexidade de economias, intensidade de fluxos econômicos e por fim aglomerações, através da análise de *clusters*.

Para analisar economias como entes integrados, nota-se o uso cada vez mais frequente da metodologia de redes complexas, como será visto na seção seguinte. As redes complexas partem da teoria dos grafos, que providencia uma fundação matemática para representar relações entre *vértices* (ou nós) e suas *ligações*. Através das redes complexas, também é possível compreender as relações econômicas através da topologia, onde a visualização gráfica permite perceber relações não tão óbvias quando se observam apenas números, além de apontar caminhos mais curtos ou ligações mais fortes entre vértices quaisquer. As redes também podem ser dirigidas, isto é, quando as ligações têm sentido claro de um vértice para outro, ou para si mesmo, formando um *loop*. Além do mais, é possível identificar não apenas quais são os setores estratégicos de uma economia, mas também combinações de setores, determinadas por elos econômicos mais fortes. Na próxima seção, trazemos uma breve visão geral da literatura sobre o tema. A seguir, definimos os aspectos metodológicos. Por fim, trazemos os resultados e as considerações finais sobre a pesquisa.

2 Literatura

É crescente a literatura que trata de representações de economias globais como redes. Uma busca com as chaves “*economic networks*” na área de Economia, na plataforma ScienceDirect, da Elsevier, revela mais de 100 resultados no ano de 2017. e 90 resultados na plataforma JSTOR. McNerney, Fath e Silverberg (2013) comentam que existem aplicações em finanças, comércio internacional e redes de inovação. Ainda, existem aplicações de redes complexas para as matrizes de insumo-produto (AROCHE-REYES, 2003; ACEMOGLU et al., 2012; CARVALHO, 2014). Reunindo dados de vários países, Blöchl et al. (2011) discutem várias medidas de importância de cada vértice (setor) e do grau de interconexão da rede (a economia como um todo). A principal contribuição do autor foi

providenciar métricas que levam em consideração o fato de que um setor pode se servir da sua própria produção como um insumo.

Acemoglu et al. (2012) apontam que os ciclos econômicos podem ser remontados à partir de choques de produtividade e relações inter-setoriais dentro da economia. Os autores mostram que a forma como a economia está organizada (mais verticalizada, ou horizontalizada, ou mesmo com setores que independem de insumos externos) afeta o modo como choques microeconômicos se espalham pela economia, em termos de velocidade e magnitude, possibilitando fenômenos como “efeitos cascata”, onde choques advindos de um setor com uma posição central na rede produtiva se propagam ao longo de cadeias produtivas próximas.

Discutiremos agora algumas aplicações de redes complexas para problemas econômicos. Bargigli e Gallegati (2011) desenvolvem uma metodologia para análises de risco sistêmico em mercados financeiros, a partir da concepção de grafos múltiplos, ou seja, redes com duas ou mais categorias de ligações. Na mesma linha, Trancoso (2014) avalia o grau de interdependência entre as economias mundiais, para testar a hipótese de descolamento recente do ritmo de crescimento entre as economias emergentes e desenvolvidas. Para tanto, o autor combina técnicas econométricas e de métricas de distância, pertinentes no que diz respeito à representações de redes, usando os coeficientes de correlação dinâmicos de todas as economias como medida de distância entre elas em uma rede. Dentre as vantagens presentes neste tipo de estratégia, está a de identificar aglomerações de economias, através de análise multivariada. Outra curiosidade dos pesquisadores é identificar como os coeficientes técnicos das matrizes de insumo-produto estão distribuídos. Nesse sentido, Liang et al. (2016) contribuem com dados de inúmeras economias globais para mostrar que os coeficientes técnicos em geral se aproximam de distribuições do tipo log-normal ou Weibull.

Também, alguns trabalhos buscam estabelecer relações espaciais entre sistemas econômicos. Em destaque, dois trabalhos concentrados na economia chinesa, que se destaca pelo histórico recente de crescimento econômico e pela dispersão geográfica das atividades. Assim, Sun, An e Liu (2018) buscam identificar atividades vitais e estratégicas espalhadas pelas províncias chinesas usando dados de matrizes de insumo-produto e empregando métricas de centralidade e de identificação de aglomerados econômicos, os autores caracterizam quais setores e províncias protagonizam a atividade econômica na China. Ainda, mostram que uma parte importante dos usos dos recursos econômicos estão contidos em atividades dentro do próprio setor. Já Sen et al. (2013) concentram-se no aspecto geográfico da complexa rede econômica chinesa, e concluem que a distribuição das atividades econômicas depende, em boa medida, das distâncias geográficas, no sentido de que atividades financeiras possuem uma ligação mais forte com regiões mais distantes, enquanto atividades intensivas em trabalho se concentram em aglomerados regionais.

Hossu et al. (2009) se aprofundam nas questões teóricas sobre o tema. Mais precisamente, argumentam que a globalização tem como impacto o aumento da complexidade das economias, trazendo novas incertezas e aumentando a volatilidade das previsões econômicas. Quanto mais próxima da realidade se busca representar economias cada vez mais complexas, mais agentes e ligações são necessárias, no caso de uma rede. No mesmo sentido, Schweitzer et al. (2009) aponta que para identificar padrões e comportamentos em meio à um grande número de informações disponíveis, é preciso dispor de ferramentas como análise de séries temporais, simulações e teoria da complexidade. Os autores argumentam que aplicações de sistemas complexos nas Ciências Naturais mostram que não são necessários choques de grande magnitude para provocar alterações drásticas no sistema como um todo. Portanto, em um sistema econômico, uma série de choques ao nível micro (como em vértices distantes do centro da rede) podem se propagar e provocar instabilidades num sistema econômico como um todo, dependendo da força das ligações na rede. Este conhecimento traz à tona um fenômeno que deriva da economia comportamental: à exemplo de muitas crises econômicas, mesmo instituições sólidas podem sucumbir devido à corridas aos bancos, causados por um grande número de pequenos agentes. Lux (2014) constrói um modelo onde os setores financeiro e empresarial interagem

no mercado interbancário. Através de simulações e testes de estabilidade do sistema, o autor descobre que não há meio termo frente à choques causados pela falência de uma instituição financeira: ou o sistema praticamente não é afetado, ou um “efeito dominó” causa graves repercussões para ambos grupos de agentes, sendo um ou outro evento devido à um limiar atingido nos fundamentos do setor financeiro, como por exemplo alta alavancagem.

Blöchl et al. (2011) caracterizam como choques nessa estrutura se propagariam pela economia ao nível macroeconômico. A partir das ideias de Black (2010), os autores mostram que choques de oferta em setores intermediários se propagam pela economia, pois o comércio entre os setores é endógeno à contabilidade de insumo-produto, enquanto outros fatores como a distribuição das firmas, lucros e choques tecnológicos são exógenos. Excessos de oferta em setores intermediários são absorvidos (aparentemente) pela maioria dos outros setores da economia, pois toda demanda absorvida representa um novo dispêndio em algum outro setor. Entretanto, os autores ponderam que os choques são "de baixa magnitude individualmente, de forma que não devem ter efeitos disruptivos sobre a economia como um todo"(BLÖCHL et al., 2011, p. 3 (tradução nossa)). Isto se dá pois o modelo de Leontief admite proporções fixas de cada insumo no processo produtivo de cada setor.

Em termos das redes de produção que são o foco deste trabalho, a metodologia aqui proposta permite ir além da análise de insumo-produto, ou seja, do impacto monetário de variações na demanda final no valor bruto da produção dos setores, pois também permite identificar setores-chave, grupos de setores e pontos frágeis, de acordo com o número e intensidade de elos que unem as atividades econômicas no Brasil. Como veremos adiante, os coeficientes técnicos inter-setoriais são usados neste trabalho como medida de interconexão entre os setores da economia brasileira. Na abordagem de insumo-produto, o valor bruto da produção é derivado do consumo intermediário e da demanda final, e torna-se possível calcular o impacto no nível de produção, em todos os setores, de um aumento na demanda final em alguma atividade. Isto se dá pelos coeficientes técnicos de produção, que relacionam o que é consumido com o que é produzido.

3 Metodologia

3.1 Análise nacional

O conjunto de dados utilizado é a matriz de coeficientes técnicos intersetoriais do ano de 2010, disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).¹ Os dados derivam diretamente da tabela de recursos e usos, a qual mostra como os produtos são utilizados pelos setores, sejam nacionais ou importados. Os dados são contabilizados a preços básicos correntes, isto é, descontados os impostos/subsídios, margens de comércio e transporte.

Assume-se que a demanda por produtos é proporcional à parcela de mercado (*market share*) dos setores. Considerando um modelo com i produtos e j atividades:

$$\mathbf{V} = \mathbf{D}\mathbf{q}^{-1} \tag{1}$$

onde $\mathbf{V}_{i \times n}$ é a matriz de produção, que relaciona o valor da produção para cada produto, $\mathbf{D}_{i \times n}$ é a matriz de market shares e $\mathbf{q}_{i \times 1}$ é o vetor de valor bruto da produção para cada produto. É calcu-

¹ Enquanto a matriz de coeficientes técnicos relacionam produtos com setores, a matriz de coeficientes técnicos intersetoriais relacionam setores com setores. A matriz de insumo-produto brasileira contém 67 setores/atividades e 127 produtos.

lada a matriz de coeficientes técnicos por atividade $\mathbf{Bn}_{n \times n}$, que deriva da matriz $\mathbf{Un}_{n \times n}$ de consumo intermediário nacional e do vetor $\mathbf{g}_{n \times 1}$ de valor bruto da produção total por atividade:

$$\mathbf{Bn} = \mathbf{Un} \cdot \mathbf{g}^{-1} \quad (2)$$

O valor da produção por produto é dado por:

$$\mathbf{q} = \mathbf{Un} \cdot \mathbf{i} + \mathbf{Fn} \quad (3)$$

onde $\mathbf{Fn}_{n \times n}$ é a matriz de demanda final por produtos nacionais e $\mathbf{i}_{n \times 1}$ é um vetor coluna contendo 1 em todas as suas entradas. Assim, substituindo (2) em (3) tem-se que:

$$\mathbf{q} = \mathbf{Bn} \cdot \mathbf{g} \cdot \mathbf{i} + \mathbf{Fn} \quad (4)$$

$$\mathbf{q} = \mathbf{Bn} \cdot \mathbf{g} + \mathbf{Fn} \quad (5)$$

Substituindo 5 em 1:

$$\mathbf{V} \cdot \mathbf{i} = \mathbf{D} \cdot \mathbf{q}^{-1} \cdot \mathbf{i} \quad (6)$$

$$\mathbf{g} = \mathbf{D} \cdot \mathbf{q} \quad (7)$$

E substituindo 7 em 5:

$$\mathbf{q} = \mathbf{Bn} \cdot \mathbf{D} \cdot \mathbf{q} + \mathbf{Fn} \quad (8)$$

Finalmente, inserindo 5 em 7, tem-se a representação do modelo de insumo-produto para os setores:

$$\mathbf{g} = \mathbf{D} \cdot (\mathbf{Bn} \cdot \mathbf{g} + \mathbf{Fn}) \quad (9)$$

$$\mathbf{g} = (\mathbf{I} - \mathbf{D} \cdot \mathbf{Bn})^{-1} \cdot (\mathbf{D} \cdot \mathbf{Fn}) \quad (10)$$

As entradas da matriz $\mathbf{D} \cdot \mathbf{Bn}$ são os coeficientes técnicos diretos entre atividades, que representam as relações inter-setoriais. Estas entradas serão utilizadas na metodologia apresentada na subseção a seguir. De maneira direta, o coeficiente técnico entre dois setores informa o quanto cada setor contribui para o próprio valor bruto da produção e de outros setores. Com o sistema de insumo-produto, é possível prever variações na demanda por insumos de todos os setores a partir de uma variação no valor bruto da produção de um determinado setor, mantidas constantes as tecnologias de produção. Ainda na equação acima, a matriz de Leontief é representada por $(\mathbf{I} - \mathbf{D} \cdot \mathbf{Bn})^{-1}$, de agora em diante denominada \mathbf{L} . As entradas da matriz de Leontief, os multiplicadores parciais, mostram o impacto do aumento de R\$ 1 no valor bruto da produção de determinado setor, ou então do valor total, através das somas das colunas de \mathbf{L} .

3.2 Análise regional

Esta subseção se desenvolve a partir dos esforços de Haddad, Júnior e Nascimento (2017) em construir um sistema inter-estadual de insumo-produto. Nesse sistema, matrizes estaduais de insumo-produto e os coeficientes técnicos inter-setoriais derivam das tabelas de recursos e usos e de dados de

tributação e comércio do Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ). Partimos, portanto, das matrizes estimadas por Haddad, Júnior e Nascimento (2017) para o ano de 2011. Este tipo de desagregação permite não apenas determinar os setores centrais da economia brasileira, mas também as combinações de unidades da federação (UF) e setores, caracterizando relações geográficas na estrutura produtiva brasileira. Entretanto, por simplicidade, o presente trabalho não explora as interconexões entre as UFs, tratando-as isoladamente.

Considere o modelo simples de insumo-produto com S setores:

$$\mathbf{x} = \mathbf{L}\mathbf{d} \quad (11)$$

$\mathbf{x}_{S \times 1}$ é o vetor de valor bruto da produção de cada setor, $\mathbf{L}_{S \times S}$ é a matriz inversa de Leontief e $\mathbf{d}_{S \times 1}$ o vetor de demanda final. A matriz de Leontief deriva da matriz de coeficientes técnicos intersetoriais \mathbf{Z} (também denominada como $\mathbf{D} \cdot \mathbf{B}\mathbf{n}$ no modelo anterior), de modo que $\mathbf{L} = (\mathbf{I} - \mathbf{Z})^{-1}$.

3.3 Métricas

Na análise nacional, a rede de atividades da economia brasileira é representada como uma rede complexa direcionada e ponderada, contendo $i, j = 1, 2, \dots, S$, com $S = 67$ setores (vértices). A representação das economias na análise regional se dá de forma análoga. As relações entre os setores podem ser determinadas simplesmente por uma matriz de adjacência $Z_{S \times S}$. O tipo mais simples de matriz de adjacência é definida por $z_{i,j} = 1$ se existe uma ligação partindo do vértice j para o vértice i , e 0 caso contrário. Entretanto, usaremos os coeficientes técnicos inter-setoriais como entradas da matriz de adjacências \mathbf{Z} , exatamente para determinar a intensidade das ligações entre os setores:

$$z_{i,j} = w_{i,j} \quad (12)$$

onde $w_{i,j}$ são as entradas da matriz $\mathbf{D} \cdot \mathbf{B}\mathbf{n}$. Ou seja, para produzir um determinado bem, um setor pode utilizar uma combinação de outros bens que entram como insumos, bem como retroalimentar o próprio bem produzido como insumo no processo produtivo. Desta forma, caracteriza-se a economia com a lista de insumos a serem utilizados na produção de cada setor.

A seguir, apresentamos medidas que buscam resumir características da rede de atividades. A métrica mais simples consiste nos graus ponderados de entrada e saída que, respectivamente, são as somas das ligações que chegam ou que partem do setor i :

$$g_i^e = \sum_j z_{i,j}, \quad g_i^s = \sum_j z_{j,i} \quad (13)$$

Note que os graus acima são as somas, respectivamente, da i -ésima linha e da i -ésima coluna da matriz de adjacências \mathbf{Z} . Aqui fica mais nítida a relevância de se usar os coeficientes técnicos inter-setoriais: setores que apresentam graus ponderados de entrada maiores são exatamente aqueles cuja contribuição de outros setores na produção é maior. De forma análoga, setores com alto grau ponderado de saída são aqueles que mais contribuem com insumos no processo produtivo de outros setores. Dessa forma, choques tanto na demanda final quanto nos preços relativos dos insumos entre esses setores são capazes de gerar grandes flutuações ao longo das cadeias de produção.

Agora, apresentamos as medidas de centralidade. Centralidade é um conceito central no estudo de redes complexas, e o objetivo das métricas é encontrar vértices (setores) influentes em meio ao conjunto. A centralidade de vértices (*vertex betweenness*) pode ser calculada pela fórmula:

$$vc(i) = \sum_{i \neq j \neq k} \frac{\gamma_{j,k}(i)}{\gamma_{j,k}} \quad (14)$$

onde $\gamma_{j,k}$ é o número de caminhos mais curtos entre os vértices j e k e $\gamma_{j,k}(i)$ o número de caminhos mais curtos entre os vértices j e k que passam pelo vértice i .

Também computaremos a centralidade por autovalores (*eigenvector centrality*). Esta é uma métrica interessante pois pondera não apenas a quantidade de elos entre os setores, mas também a sua magnitude: por exemplo, setores que possuem poucos mas importantes compradores de insumos podem aparecer como mais centrais em uma economia do que setores cujas interações são pulverizadas. Através do escore de centralidade por autovalores, é possível identificar: (i) setores que são grandes fornecedores de insumos e (ii) setores que são grandes compradores de insumos. Seguindo Contreras (2013), é possível calcular os escores com a fórmula:

$$\mathbf{X} = (\mathbf{I} - \lambda \mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1} \mathbf{1} \quad (15)$$

onde \mathbf{X} é o vetor de centralidade por autovalores para os setores fornecedores de insumos, λ é o maior autovalor e \mathbf{Z} a matriz de coeficientes técnicos intersetoriais.

Ainda, além das medidas de centralidade, existem algoritmos para encontrar *agrupamentos* em redes complexas. Usamos o algoritmo de Girvan e Newman (2002), que pode ser descrito pelas seguintes etapas: (i) a centralidade de todas as ligações é calculada; (ii) a ligação de maior centralidade é removida; (iii) a centralidade das ligações afetadas pela remoção anterior é recalculada; (iv) o algoritmo se repete até que não seja mais possível fazer remoções. A ideia é que se formem grupos com ligações fortes entre si, mas fracas com outros grupos.

Por fim, também são propostas medidas de difusão de setores. Consideramos um setor difuso como aquele que possui um grande número de interações relevantes com outros setores. Setores pouco difusos geralmente são aqueles que reinvestem os próprios bens gerados de volta ao seu processo produtivo. Para avaliar a difusão de setores, empregaremos uma medida proposta por Contreras (2013), baseada no índice de concentração de mercado de Herfindahl:

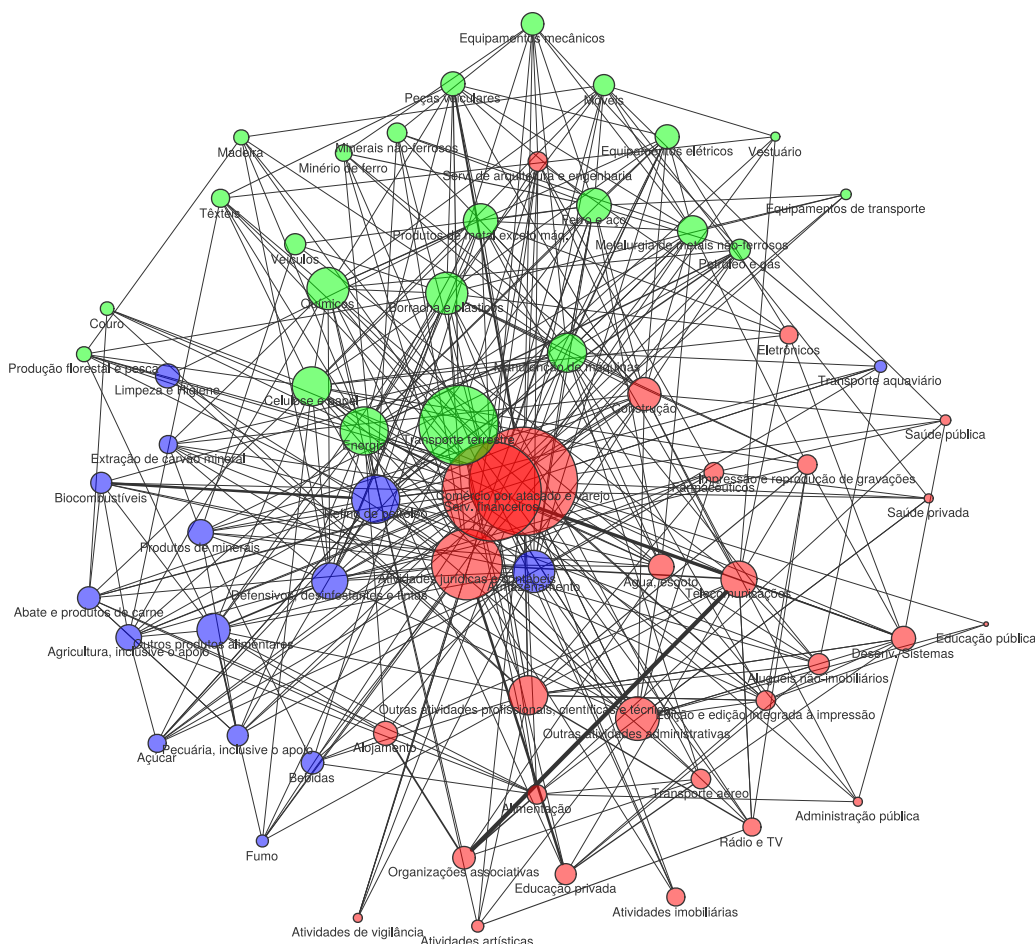
$$H_t = \sum_{s=1}^S \left(\frac{l_{st}}{\sum_{s=1}^S l_{st}} \right)^2 \quad (16)$$

onde l_{st} é a entrada (s, t) da matriz de Leontief \mathbf{L} . Valores menores de H_t significam maior difusão do setor t em determinada economia. Aplicada à vários setores e economias, é possível caracterizar a diversidade dos setores produtivos de uma determinada economia. Neste trabalho, reportaremos para cada UF o setor com o maior índice de difusão (usando $1 - H_t$ para facilitar a comparação), com o objetivo de identificar quais são os setores mais difusos nas economias sub-nacionais, ou seja, quais são os setores com o maior número de interações de magnitudes relevantes, tanto como fornecedor quanto como comprador de insumos.

4 Resultados

A Figura 1 representa a economia brasileira, a partir dos coeficientes técnicos inter-setoriais, como uma rede complexa². Os vértices são espalhados de acordo com o algoritmo de Kamada e Kawai (1989), que objetiva posicionar os vértices mais importantes no centro. O tamanho dos vértices e sua posição central no gráfico é proporcional à sua importância, calculada pelo seu *grau*, que é uma medida de centralidade. A intensidade e espessura das ligações são proporcionais à intensidade dos coeficientes técnicos inter-setoriais³.

Figura 1 – A rede de atividades da economia brasileira.



Fonte - Elaboração própria.

O algoritmo de Girvan e Newman (2002) apresentado anteriormente é empregado para identificar *clusters* na rede produtiva brasileira. O algoritmo funciona removendo ligações progressivamente, buscando as ligações que são muito comuns à um grupo de vértices, mas pouco comum à outros grupos potenciais. O resultado é análogo a construção de um dendograma, ferramenta comum na análise fatorial exploratória, ramo da análise multivariada. Três *clusters* são identificados, e os setores associados possuem a mesma cor na visualização. É possível perceber que os *clusters* agrupam, de maneira aproximada, atividades de natureza similar: (i) setores extrativos de matéria-prima; (ii) setores de manufaturados; (iii) atividades ligadas ao setor de serviços. Ainda na Figura 1, é possível identificar elos fortes na cadeia produtiva brasileira, como por exemplo a relação entre serviços financeiros, telecomunicações e organizações associativas, as cadeias produtivas do petróleo e minério de ferro.

² Elaborado no software R, com uso do pacote *igraph*.

³ Para facilitar a leitura da Figura 1, as ligações de um setor consigo mesmo (*loops*) são omitidas.

A principal aglomeração que emerge da análise é a de atividades ligadas ao setor de serviços, com três atividades centrais para toda a economia brasileira: comércio por atacado e varejo, serviços financeiros e serviços jurídicos e/ou contábeis. Dentre a aglomeração de setores extrativos de matéria-prima, destacam-se o refino de petróleo e armazenamento (este último compreende produtos acabados, a granel, matérias primas). Na aglomeração de manufaturados, as atividades de transporte terrestre e energia aparecem como centrais.

4.1 Topologia da rede

Como se comparam os dados da rede com outras métricas de encadeamento da economia? A Tabela 1 compara quais os dez setores mais relevantes, em termos de conexões da rede, medidas pelo grau de cada vértice com o índice de ligação para trás de Rasmussen-Hirschmann. O índice é calculado a partir da fórmula

$$U_j = \left(\sum_{j=1}^i l_{ij}/S \right) / \mathbf{L}^* \quad (17)$$

onde l_{ij} são as entradas da matriz de Leontief, S é o número de setores e \mathbf{L}^* é a média aritmética de todas as entradas da matriz de Leontief. Em termos simples, o índice para trás mostra quais são os setores que mais demandam insumos em comparação com o resto da economia.

Tabela 1 – Classificação de graus e índices de ligação

Classif.	Grau ponderado de saída	Índice para trás de R-H
1	Comércio por atacado e varejo	Abate e produtos de carne
2	Serv. financeiros	Outros produtos alimentares
3	Transporte terrestre	Biocombustíveis
4	Atividades jurídicas e contábeis	Refino de petróleo
5	Energia e gás natural	Açúcar
6	Refino de petróleo	Metalurgia
7	Outras atividades administrativas	Produtos do fumo
8	Armazenamento	Fabricação de veículos, exc. peças
9	Borracha e plásticos	Produção de ferro e tubos de aço
10	Químicos	Bebidas

Fonte – Elaboração própria.

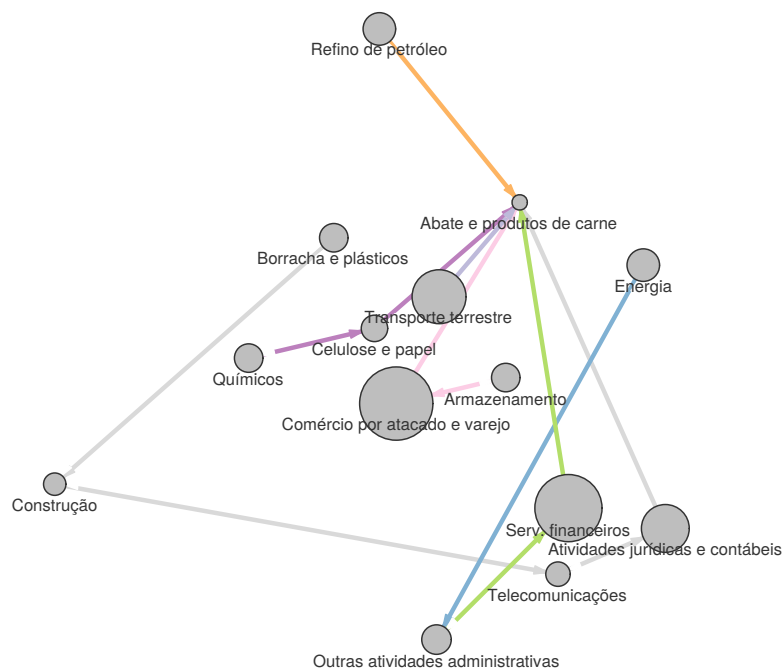
Nota – A atividade Serv. financeiros está identificada nos dados como “Intermediação financeira, seguros e previdência complementar”.

A comparação revela resultados bastante diversos, primeiramente devido aos elementos que cada métrica emprega. Enquanto o cálculo do grau ponderado usa os elementos da matriz de coeficientes técnicos \mathbf{Z} , o índice de ligação para trás usa os multiplicadores de Leontief, ou seja, os elementos de \mathbf{L} . Assim, enquanto o grau ponderado de saída revela setores que contribuem para o valor bruto da produção tanto do próprio setor quanto do resto da economia, o índice de ligação explora setores que respondem à variações no vetor de demanda final da economia. Em segundo lugar, o grau de saída reforça o número de ligações entre os setores, de forma a trazer à tona setores de fato centrais, com alto número de interações com o resto da economia.

Por fim, com base nas ligações entre os setores da economia, é possível determinar como se propagam perturbações advindas dos setores identificados como centrais da economia brasileira, como por exemplo impactos de choques nos preços relativos dos insumos. Isto pode ser feito analisando

quais os caminhos mais curtos (chamados *geodésicas*) partindo de um determinado vértice. A “extensão” do caminho depende da magnitude da ligação entre dois setores, dado pelos coeficientes técnicos intersetoriais. Quanto maior o coeficiente, define-se que menor será a extensão. De maneira simplificada, os caminhos mais curtos mostram, dada uma variação no valor bruto da produção de um determinado setor, qual outro setor será impactado, e assim sucessivamente até que a intensidade do choque seja dissipada. A Figura 2 mostra quais ligações serão impactadas mais rapidamente devido à choques no emprego de fatores.

Figura 2 – Caminhos mais curtos partindo dos principais setores.



Fonte - Elaboração própria.

Novamente, o setor de abate e produtos de carne aparece como destino final de choques advindos de vários outros setores, inclusive setores aparentemente não relacionados com o processo produtivo de alimentos. Isto reforça a tese da representação da economia como uma rede de atividades, pois revela interconexões e possíveis efeitos cascata generalizados, que podem afetar preços, salários e o bem-estar social.

4.2 Análise regional

A Tabela 2 apresenta qual o setor com o maior escore de centralidade de vértices em cada UF analisada. A terceira e última coluna da Tabela mostra qual o impacto do aumento em 1 unidade monetária da demanda final do setor no valor bruto da produção da UF⁴:

Os resultados mostram padrões interessantes ao longo dos estados do país e do Distrito Federal. Como mostram as participações dos setores no valor bruto da produção estadual em geral, as métricas de centralidade não se dispõem a identificar setores-chave das economias no sentido de maior geração de valor adicionado (por exemplo, o comércio por atacado e varejo), mas sim setores cujas variações nos coeficientes técnicos são capazes de promover alterações significativas na estrutura produtiva de cada UF. Não obstante, a metodologia é capaz de identificar setores sabidamente relevantes (exem-

⁴ Essa medida é análoga ao grau ponderado de entrada da rede de atividades, e é calculada pela soma da linha de um setor s na matriz Z da UF $\sum_s z_{s,t}$.

Tabela 2 – Centralidade de vértices

Estado	Setor central	Part. VBP
Acre	Abate e prod. de carne, incl. os prod. do laticínio e da pesca	0,14
Alagoas	Outros prod. alimentares	0,22
Amapá	Com. por atacado e a varejo, exc. veículos automotores	2,64
Amazonas	Fabricação de prod. de borracha e de material plástico	0,57
Bahia	Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos	0,72
Ceará	Abate e prod. de carne, incl. os prod. do laticínio e da pesca	0,03
Distrito Federal	Administração pública, defesa e seguridade social	0,16
Espírito Santo	Fabricação de celulose, papel e prod. de papel	0,19
Goiás	Serv. de arquitetura, engenharia, análises técnicas e P & D	0,18
Maranhão	Outros prod. alimentares	0,08
Mato Grosso	Abate e prod. de carne, incl. os prod. do laticínio e da pesca	0,18
Mato Grosso do Sul	Abate e prod. de carne, incl. os prod. do laticínio e da pesca	0,14
Minas Gerais	Abate e prod. de carne, incl. os prod. do laticínio e da pesca	0,14
Pará	Abate e prod. de carne, incl. os prod. do laticínio e da pesca	0,18
Paraíba	Construção	0,35
Paraná	Fabricação de prod. de minerais não-metálicos	0,15
Pernambuco	Fabricação de prod. de minerais não-metálicos	0,18
Piauí	Outros prod. alimentares	0,20
Rio de Janeiro	Extração de petróleo e gás, incl. as atividades de apoio	0,25
Rio Grande do Norte	Outros prod. alimentares	0,03
Rio Grande do Sul	Fabricação de prod. de minerais não-metálicos	0,18
Rondônia	Abate e prod. de carne, incl. os prod. do laticínio e da pesca	0,18
Roraima	Construção	0,37
Santa Catarina	Fabricação de prod. de minerais não-metálicos	0,17
São Paulo	Abate e prod. de carne, incl. os prod. do laticínio e da pesca	0,09
Sergipe	Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos	0,52
Tocantins	Abate e prod. de carne, incl. os prod. do laticínio e da pesca	0,16

Fonte – Elaboração própria.

plos: administração pública, defesa e seguridade social no Distrito Federal, extração de petróleo e gás no Rio de Janeiro, abate e produção de carnes no Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.).

De acordo com os resultados, é possível identificar a importância do setor alimentício no Brasil em 13 das 27 unidades da federação. Aqui emerge um contraponto, devido ao fato de que, como observado na Tabela 1, os setores de abate de carnes e outros produtos alimentícios aparecem no topo da lista do índice de ligação para trás de Rasmussen-Hirschmann. Portanto, o setor alimentício aparece como um setor capaz de propagar choques econômicos significativos, advindo do lado da oferta de outros insumos.

A Tabela 3 apresenta os setores identificados como centrais em cada UF pela medida de centralidade por autovalores. Ao contrário do observado na Tabela 2, é possível que mais de um setor seja identificado como central. Isto se dá pelo fato de que pode-se ter mais de um autovalor que satisfaça a igualdade na Equação (15). Aqui, os setores encontrados com maior frequência diferem daqueles referentes à centralidade de vértices, respectivamente: (i) comércio no atacado e varejo, exceto veículos (5); (ii) fabricação de produtos de minerais não-metálicos (4); (iii) abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca (4); serviços de arquitetura, engenharia, testes/análises técnicas e P & D (4).

De que maneira as duas medidas de centralidade de vértices se estão relacionadas? A Figura 3 mostra quais foram os escores estimados para cada par setor-UF⁵. A Figura mostra que os dois indicadores possuem qualidades diferentes, não havendo forte correlação entre elas (0,187). De fato,

⁵ Com 27 UFs e 68 setores temos 1836 pontos estimados.

Tabela 3 – Centralidade por autovalores

Estado	Setores centrais	Part. VBP
Acre	Com. atacado e a varejo, exc. veículos automotores	2,47
Alagoas	Com. atacado e a varejo, exc. veículos automotores	2,23
Amapá	Serv. arquitetura, engenharia, análises técnicas e P & D	0,35
Amazonas	Fab. máq. e equipamentos elétricos	0,24
Bahia	Metalurgia de metais não-ferrosos e a fundição de metais	0,23
	Serv. arquitetura, engenharia, análises técnicas e P & D	0,31
	Fab. máq. e equipamentos mecânicos	0,05
	Fab. prod. de borracha e de material plástico	0,16
Distrito Federal	Administração pública, defesa e seguridade social	0,16
Espírito Santo	Fab. celulose, papel e prod. de papel	0,19
Goiás	Serv. arquitetura, engenharia, análises técnicas e P & D	0,18
Maranhão	Construção	0,39
Mato Grosso	Abate e prod. de carne, incl. laticínio e da pesca	0,18
Mato Grosso do Sul	Fab. celulose, papel e prod. de papel	0,27
Minas Gerais	Fab. prod. de limpeza, cosméticos e higiene pessoal	0,01
	Manutenção, reparação e instalação de máq. e equipamentos	0,46
	Serv. arquitetura, engenharia, análises técnicas e P & D	0,35
Pará	Fab. químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros	0,06
Paraná	Serv. arquitetura, engenharia, análises técnicas e P & D	0,22
Paraíba	Construção	0,33
	Serv. arquitetura, engenharia, análises técnicas e P & D	0,22
Pernambuco	Fab. prod. de minerais não-metálicos	0,15
Piauí	Com. atacado e a varejo, exc. veículos automotores	2,95
Rio de Janeiro	Fab. celulose, papel e prod. de papel	0,07
Rio Grande do Norte	Com. atacado e a varejo, exc. veículos automotores	2,77
Rio Grande do Sul	Fab. prod. de minerais não-metálicos	0,19
Rondônia	Construção	0,45
Roraima	Energia elétrica, gás natural e outras utilidades	0,86
Santa Catarina	Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia	0,26
São Paulo	Fab. máq. e equipamentos mecânicos	0,18
Sergipe	Construção	0,37
Tocantins	Abate e prod. de carne, incl. laticínio e da pesca	0,16

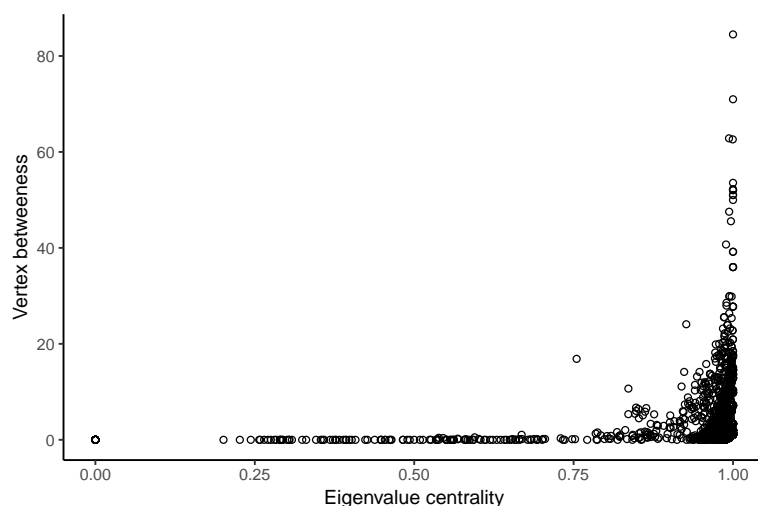
Fonte – Elaboração própria.

enquanto a métrica de centralidade de vértices está focada na quantidade de elos nas relações de insumo-produto dentro de cada UF, a centralidade por autovalores – por construção – é mais sensível às variações nos coeficientes técnicos intersetoriais. Nota-se que muitos pontos onde a centralidade por vértices é nula têm por contrapartida escores não-nulos de centralidade por autovalores.

A Tabela 4 apresenta os índices de difusão de setores, calculado de acordo com a Equação (16). Recordando a discussão na seção de metodologia, quanto mais alto o índice, diz-se que mais difusas são as relações de emprego de fatores. De modo análogo, um setor pouco difuso compra ou fornece insumos a um número reduzido de outros setores. São reportados os valores do índice para o setor mais difuso em cada UF.

Dentre os resultados encontrados, predominam entre os estados brasileiros o setor de atividades profissionais, científicas e técnicas, seguido do setor de abate de carnes e produtos do laticínio e pesca. O índice parece capturar o fato do setor de atividades profissionais ser um fornecedor de insumos fundamentais à maioria dos demais setores, a saber mão-de-obra qualificada. O valor mais alto encontrado corresponde ao setor de atividades profissionais, científicas e técnicas no Rio de Janeiro (0,684). Assim, o índice de difusão se mostra uma útil ferramenta, por exemplo, na construção de um *ranking* de setores-chave nas economias sub-nacionais, pelo lado da oferta. Não parece haver

Figura 3 – Dispersão das métricas de centralidade.



Fonte - Elaboração própria.

um *link* entre a característica do setor e o valor bruto da produção de cada UF, tampouco emergem particularidades geográficas.

Tabela 4 – Classificação pelo índice de difusão

Estado	Maior índice de difusão	Índice
Acre	Outras atividades profissionais, científicas e técnicas	0,574
Alagoas	Outras atividades profissionais, científicas e técnicas	0,601
Amapá	Água, esgoto e gestão de resíduos	0,630
Amazonas	Outras atividades profissionais, científicas e técnicas	0,607
Bahia	Abate e prod. de carne, incl. os prod. do laticínio e da pesca	0,601
Ceará	Abate e prod. de carne, incl. os prod. do laticínio e da pesca	0,620
Distrito Federal	Outras atividades profissionais, científicas e técnicas	0,603
Espírito Santo	Outras atividades profissionais, científicas e técnicas	0,606
Goiás	Outras atividades profissionais, científicas e técnicas	0,591
Maranhão	Outras atividades profissionais, científicas e técnicas	0,608
Mato Grosso	Abate e prod. de carne, incl. os prod. do laticínio e da pesca	0,615
Mato Grosso do Sul	Outras atividades profissionais, científicas e técnicas	0,645
Minas Gerais	Abate e prod. de carne, incl. os prod. do laticínio e da pesca	0,570
Pará	Outras atividades profissionais, científicas e técnicas	0,622
Paraíba	Outras atividades profissionais, científicas e técnicas	0,619
Paraná	Transporte aquaviário	0,574
Pernambuco	Abate e prod. de carne, incl. os prod. do laticínio e da pesca	0,592
Piauí	Abate e prod. de carne, incl. os prod. do laticínio e da pesca	0,570
Rio de Janeiro	Outras atividades profissionais, científicas e técnicas	0,684
Rio Grande do Norte	Abate e prod. de carne, incl. os prod. do laticínio e da pesca	0,594
Rio Grande do Sul	Outras atividades profissionais, científicas e técnicas	0,646
Rondônia	Outras atividades profissionais, científicas e técnicas	0,589
Roraima	Outras atividades profissionais, científicas e técnicas	0,551
Santa Catarina	Outras atividades profissionais, científicas e técnicas	0,633
São Paulo	Outras atividades profissionais, científicas e técnicas	0,625
Sergipe	Abate e prod. de carne, incl. os prod. do laticínio e da pesca	0,573
Tocantins	Outras atividades profissionais, científicas e técnicas	0,587

Fonte – Elaboração própria.

5 Conclusão

O presente trabalho buscou caracterizar a estrutura produtiva brasileira como uma rede complexa e identificar setores centrais através de diferentes métodos. Com dados da matriz de insumo-produto nacional de 2010, a metodologia identificou os setores de comércio por atacado e varejo, serviços financeiros e transportes terrestres como sendo os três mais centrais na economia brasileira. A análise das matrizes do sistema de insumo-produto inter-estadual apresentadas por Haddad, Júnior e Nascimento (2017) enriquece o conhecimento sobre o tema, revelando heterogeneidades não detectáveis na matriz de insumo-produto nacional composta pelo IBGE.

Os resultados mostraram que na rede de atividades da economia brasileira, setores como o comércio por atacado e varejo, serviços financeiros e transportes são chave não apenas porque geram alto valor adicionado, mas também porque movimentam um grande número de fatores de produção e estão fortemente conectados com o resto da economia. Em busca de medidas de importância que revelem diferentes aspectos da economia brasileira, foram exploradas as métricas de centralidade de vértices, ou seja, os setores na análise de insumo-produto, bem como os índices de difusão de setores nas unidades federativas.

Eventuais limitações emergem da própria natureza da matriz insumo-produto, como a hipótese de que os coeficientes técnicos sejam constantes, bem como os retornos de escala. Outras limitações foram impostas pelo presente trabalho para fins de simplificação, como a ausência de interconexões entre as unidades da federação, contudo a presente metodologia permite a extrapolação para um modelo inter-regional de insumo-produto. Trabalhos futuros podem explorar este tipo de metodologia para elucidar outros problemas econômicos, como por exemplo alocações de recursos nas estruturas produtivas que maximizam o bem-estar, bem como analisar a resiliência da economia frente à variações nos coeficientes técnicos intersetoriais e as interações entre as unidades sub-nacionais através da análise de redes complexas, usando sistemas inter-regionais de insumo-produto. Por fim, espera-se que os resultados e as técnicas aqui empregadas sirvam como subsídios adicionais à tomada de decisão, bem como novas perspectivas no que diz respeito à alocação de recursos.

Referências

ACEMOGLU, D.; CARVALHO, V.; OZDAGLAR, A.; TAHBAZ-SALEHI, A.; SOCIETY, T. E. The Network Origins of Aggregate Fluctuations. **Econometrica**, v. 80, n. 5, p. 1977–2016, 2012. ISSN 0012-9682.

AROCHE-REYES, F. A qualitative input-output method to find basic economic structures. **Papers in Regional Science**, v. 82, n. 4, p. 581–590, 2003. ISSN 10568190.

BARGIGLI, L.; GALLEGATI, M. Random digraphs with given expected degree sequences: A model for economic networks. **Journal of Economic Behavior and Organization**, Elsevier B.V., v. 78, n. 3, p. 396–411, 2011. ISSN 01672681.

BLACK, F. **Business Cycles and Equilibrium**. New Jersey: John Wiley and Sons, 2010. 197 p. ISBN 978-0-470-49917-7.

BLÖCHL, F.; THEIS, F. J.; VEGA-REDONDO, F.; FISHER, E. O. Vertex centralities in input-output networks reveal the structure of modern economies. **Physical Review E - Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics**, v. 83, n. 4, p. 1–8, 2011. ISSN 15393755.

CARVALHO, V. M. From Micro to Macro via Production Networks. **Journal of Economic Perspectives**, v. 28, n. 4, p. 23–48, 2014. ISSN 0895-3309.

- CONTRERAS, M. G. A. Global Centrality, Key Sectors, and Diffusion of Resources in an Input-Output Network: Evidence from France. **Working Paper**, p. 1–13, 2013.
- GIRVAN, M.; NEWMAN, M. E. J. Community structure in social and biological networks. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 99, n. 12, p. 7821–7826, 2002. ISSN 0027-8424.
- HADDAD, E. A.; JÚNIOR, C. A. G.; NASCIMENTO, T. O. Matriz Interestadual de Insumo-produto para o Brasil : Uma Aplicação do Método IIOAS. **Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos**, v. 11, n. 4, p. 424–446, 2017.
- HOSSU, D.; HUMAILA, H.; MOCANU, S.; SARU, D. Complex networks to model the economic globalization process. In: **IFAC Proceedings Volumes**. IFAC, 2009. v. 42, n. 25, p. 62–67.
- KAMADA, T.; KAWAI, S. An algorithm for drawing general undirected graphs. **Information Processing Letters**, v. 31, n. 1, p. 7–15, 1989. ISSN 00200190.
- LIANG, S.; QI, Z.; QU, S.; ZHU, J.; CHIU, A. S.; JIA, X.; XU, M. Scaling of global input-output networks. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, Elsevier B.V., v. 452, p. 311–319, 2016. ISSN 03784371.
- LUX, T. A Model of the Topology of the Bank-Firm Credit Network and its Role as Channel of Contagion. **Kiel Working Papers**, n. 1950, 2014.
- MCNERNEY, J.; FATH, B. D.; SILVERBERG, G. Network structure of inter-industry flows. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, Elsevier B.V., v. 392, n. 24, p. 6427–6441, 2013. ISSN 03784371.
- SCHWEITZER, F.; FAGIOLO, G.; SORNETTE, D.; Fernando Vega-Redondo; WHITE, D. R. Economic Networks: What do we know and what do we need to know? **Advanced in Complex Systems**, v. 12, n. 4, p. 961–990, 2009. ISSN 10778012.
- SEN, H.; HUALEI, Y.; BOLIANG, C.; CHUNXIA, Y. Research on spatial economic structure for different economic sectors from a perspective of a complex network. **Physica A**, Elsevier B.V., v. 392, n. 17, p. 3682–3697, 2013. ISSN 0378-4371.
- SUN, X.; AN, H.; LIU, X. Network analysis of Chinese provincial economies. **Physica A**, Elsevier B.V., v. 492, p. 1168–1180, 2018. ISSN 0378-4371.
- TRANCOSO, T. Emerging markets in the global economic network: Real(ly) decoupling? **Physica A**, v. 395, p. 499–510, 2014.