



## **EVOLUÇÃO DA ESTRUTURA DE INTERDEPENDÊNCIA TECNOLÓGICA SETORIAL DA ECONOMIA BRASILEIRA ENTRE 2000 E 2014**

**Felipe Queiroz Silva<sup>1</sup>**  
**Carlos Frederico Leão Rocha<sup>2</sup>**

### **Resumo**

O objetivo deste artigo é analisar a estrutura de interdependência tecnológica setorial da economia brasileira, ou seja, a identificação da direção e da intensidade do fluxo entre os setores que mais transferem e os que mais absorvem tecnologia ou conhecimento. Essa análise compreende alguns intervalos de anos entre 2000 e 2014 e apresenta a evolução da estrutura dos fluxos tecnológicos intersetoriais da economia brasileira ao longo desse período. A análise é feita em nível setorial e utiliza a abordagem metodológica de insumo-produto e análises de redes para a construção de matrizes de fluxos tecnológicos baseados em gastos de P&D incorporados nas transações de bens de consumo intermediário e bens de capital entre os setores econômicos. Dentre os resultados encontrados, verifica-se que a estrutura de interdependência tecnológica setorial da economia brasileira entre 2000 e 2014 apresentou mais estabilidade do que modificações ao longo do tempo. A indústria química se destaca como setor-chave em termos de transbordamentos tecnológicos incorporados em bens de consumo intermediário para seus setores usuários, enquanto a indústria de máquinas e equipamentos se destaca nos transbordamentos tecnológicos incorporados nos bens de capital. Já a absorção tecnológica apresentou uma estrutura mais dispersa entre os setores.

**Palavras-chave:** Interdependência Tecnológica Setorial; Inovação; Fluxos Tecnológicos.

### **Abstract**

The aim of this article is to analyze the structure of sectoral technological interdependence of the Brazilian economy, that is, the identification of the direction and intensity of the flows of technology or knowledge between the sectors. This analysis includes some intervals of years between 2000 and 2014 and presents the evolution of the structure of intersectoral technological flows of the Brazilian economy throughout this period. The analysis is done at the sectoral level and uses the methodological approach of input-output matrixes and networks analysis for the construction of matrices of technological flows based on R&D expenditures incorporated in the transactions of intermediary consumer goods and capital goods among the economic sectors. Among the results found, it can be seen that the structure of sectoral technological interdependence of the Brazilian economy between 2000 and 2014 presented more stability than modifications over time. The chemical industry stands out as a key sector in terms of technological spillover embodied in intermediate consumer goods for its user sectors, while the machinery and equipment industry stands out in the technological spillover embodied in capital goods. On the other hand, the technological absorption presented a more dispersed structure among the sectors.

**Keywords:** Sectoral Technological Interdependence; Innovation; Technology Flow.

**Área 4.3:** Sistemas de inovação - nacional, regional, setorial, tecnológico.

**JEL:** C67; L16; O33

<sup>1</sup>Doutor em Economia da Indústria e Tecnologia do Instituto de Economia da UFRJ.

<sup>2</sup> Professor do Instituto de Economia da UFRJ.

## 1. Introdução

Na literatura econômica a inovação é vista como a principal fonte do crescimento econômico de longo prazo. No entanto, o processo de criação e difusão de inovações é complexo e incerto. Do ponto de vista das empresas e dos setores industriais, os efeitos dos esforços inovativos não se restringem à empresa ou ao setor que originou uma inovação, mas também aos efeitos que são transbordados (*spillovers*) para outras empresas ou outros setores industriais por meio da aquisição de produtos novos ou melhorados (insumos intermediários ou bens de capital). Esse fluxo de tecnologia entre empresas ou setores de uma economia é uma característica importante na percepção da mudança tecnológica e do crescimento econômico, e está inserido em um contexto de mudança estrutural. Vários estudos já mostraram que a maioria das inovações produzidas e incorporadas em novos produtos por um setor são utilizadas como melhorias no processo produtivo de outros setores, que resultam em ganhos de produtividade (e.g. SCHMOOKLER, 1966; SCHERER, 1982; PAVITT, 1984), bem como as relações entre setores produtores e usuários de inovação são determinantes para o próprio desenvolvimento da tecnologia (e.g. ROSENBERG, 1979; LUNDVALL, 1988).

Dessa maneira, o objetivo deste artigo é analisar a estrutura de interdependência tecnológica setorial da economia brasileira, ou seja, a identificação da direção e da intensidade do fluxo entre os setores que mais transferem e os que mais absorvem tecnologia ou conhecimento. Essa análise compreende alguns intervalos de anos entre 2000 e 2014 e apresenta a evolução da estrutura dos fluxos tecnológicos intersetoriais da economia brasileira ao longo desse período. A análise é feita em nível setorial e utiliza a abordagem metodológica de insumo-produto para a construção de matrizes de fluxos tecnológicos entre as atividades econômicas. Essas matrizes utilizam dados de gastos em P&D como estimativas de esforços inovativos incorporados na aquisição de bens de consumo intermediário e bens de capital dos setores.

Para uma melhor análise e visualização sintética da estrutura de interdependência tecnológica setorial da economia brasileira ao longo do tempo, utilizou-se também técnicas de análises de redes capazes de identificar a direção e intensidade dos fluxos tecnológico intersetoriais. Esse tipo de análise possui a vantagem de identificar setores-chaves em termos de suas ligações para trás e para frente na cadeia produtiva, buscando o aspecto tecnológico como fator essencial para o desenvolvimento econômico. A identificação de setores-chaves do ponto de vista da tecnologia e a direção destes ao longo das cadeias produtivas são importantes para a percepção do processo de criação e difusão de inovações do país, bem como podem ser úteis para a formulação de estratégias e políticas de desenvolvimento econômico. Este tipo de estudo raramente é realizado em países em desenvolvimento, que podem apresentar características distintas e específicas em comparação aos países desenvolvidos. Outra vantagem deste artigo é o uso de matrizes de investimentos, raramente disponíveis em outros países para análises dos fluxos de P&D incorporados nos bens de capital, que pela característica tecnológica desses produtos são ainda mais importantes do que os bens de consumo.

Além dessa introdução, o artigo está estruturado em mais quatro seções. A seção 2 apresenta algumas abordagens empíricas sobre interdependência tecnológica setorial utilizadas na literatura. A seção 3 apresenta a metodologia, compreendendo a construção das matrizes de fluxos tecnológicos e técnicas de análises de redes por meio de matrizes de insumo-produto, bem como os detalhes da base de dados utilizada. Por fim, a seção 4 apresenta os resultados da pesquisa, enquanto a seção 5 apresenta as considerações finais.

## 2. Interdependência tecnológica setorial: uma abordagem empírica

A busca por uma análise empírica de interdependência tecnológica setorial, ou seja, na identificação da direção e da intensidade dos fluxos tecnológicos entre os setores de uma economia, foi pioneiramente apresentada por Schmookler (1966). O autor ressaltava que a maior parte da produção das indústrias é direcionada para outras indústrias, e não para o consumidor final. Neste caso, uma parte importante do desenvolvimento tecnológico de um setor deve ocorrer por meio da aquisição de produtos novos ou melhorados de outros setores. Estes produtos novos ou melhorados,

por outro lado, possuem algum grau de tecnologia ou esforço inovativo incorporado, evidenciando que parte substancial do processo de difusão tecnológica em uma economia vem das relações entre produtores e usuários de inovações.

Para Schmookler (1966), uma maneira de mensurar os fluxos tecnológicos intersetoriais seria por meio de alguma *proxy* relacionada à tecnologia em nível da indústria (patentes ou gasto em P&D, por exemplo) em proporção a alguma medida de trocas entre os setores de uma economia. Com base nesses conceitos e com finalidades distintas, autores como Scherer (1982), Momigliano e Siniscalco (1984), Archibugi (1988) e Marengo e Sterlacchini (1990) desenvolveram e/ou sistematizaram algumas técnicas de mensuração dos fluxos tecnológicos utilizando matrizes de insumo-produto, já que estas representam com detalhes as trocas interindustriais de uma economia. Segundo esses autores, a abordagem de insumo-produto com a utilização de alguma variável de tecnologia fornece um quadro rigoroso para a análise de interdependência do sistema produtivo e os resultados empíricos geralmente são simples e satisfatórios.

No entanto, análises de fluxos tecnológicos baseados em matrizes de insumo-produto apresentam algumas limitações, já que o processo de difusão de tecnologia ou conhecimento é bem mais complexo do que as relações comerciais identificadas pelas matrizes. Essas limitações podem ser melhor conceituadas de acordo com fontes distintas de externalidades (*spillovers*) geradas pelos esforços inovativos ou de P&D. Para Griliches (1979), por exemplo, há dois tipos básicos de *spillover*: *rent-spillover* e o *knowledge-spillover*. O *rent-spillover* está relacionado com os ganhos de produtividade dos setores usuários de inovações por meio da compra de insumos produtivos novos ou melhorados fornecidos pelos setores produtores, ou seja, por meio das transações de compra e venda de bens e serviços de uma economia. No entanto, as externalidades trazidas pela tecnologia vão além das transações econômicas observáveis, no qual o *knowledge-spillover* seria o transbordamento do conhecimento não incorporado na compra e venda de bens e serviços, e sim na difusão do conhecimento tácito, como ideias, habilidades, expertise ou até mesmo de arranjos cooperativos para inovação de setores com proximidade tecnológica, mas que não necessariamente transacionam mercadorias entre si.

Assim, a grande maioria dos estudos sobre fluxos tecnológicos lidam com o *rent-spillover*, já que informações e formas de mensurações de conhecimento tácito são muito mais difíceis de serem obtidas na prática. Dentre esses estudos, destaca-se o uso de análises de redes para uma visualização mais prática e sintética da interdependência tecnológica de uma economia. Schnabl (1994; 1995), por exemplo, desenvolveu uma técnica denominada *subsystem minimal flow analysis* (SMFA), definido como um método gráfico-teórico que fornece visualizações de características estruturais aplicado às informações das matrizes de insumo-produto. Numa abordagem de fluxo de tecnologia, o método SMFA permite visualizar e qualificar de forma prática quais são os principais setores de uma economia responsáveis por fornecer e utilizar tecnologia.

Alguns estudos sobre interdependência tecnológica setorial que utilizaram o método de Schnabl (1994; 1995) identificaram características estruturais importantes para países distintos. Por exemplo, Düring e Schnabl (2000) analisou os fluxos tecnológicos da Alemanha, Estados Unidos e Japão para os anos de 1980 a 1990 e observaram características similares e distintas entre os países. Em todos os três países foi possível perceber que o setor de química é uma importante fonte de tecnologia para outros setores, enquanto que os setores de materiais eletrônicos e de máquinas e equipamentos são centrais tanto no fornecimento quanto no recebimento de tecnologia. Por outro lado, foi possível identificar algumas diferenças nos fluxos de tecnologia intersetoriais entre os países. Foi possível perceber, por exemplo, a importância dos setores de aeronaves e de petróleo como receptores de tecnologia para a economia norte-americana e o de papel e celulose para a economia japonesa.

Drejer (1999) aplicou o método SMFA para a Dinamarca entre 1979 e 1991, e verificou a importância dos setores de alimento e vários serviços como maiores receptores de tecnologia, enquanto o setor de máquinas e equipamentos foi visto como o principal fornecedor. A autora concluiu que a intensidade do P&D incorporado em novos produtos de outras indústrias é maior do que o P&D próprio em setores menos intensivos em tecnologia como os de vestuário, construção e

serviços, enquanto que essa proporção é menor para setores mais intensivos em tecnologia como os de instrumentos ópticos e eletrônica. Outra observação é a de que enquanto os fornecedores de tecnologia tendem a ser concentrados em poucas indústrias, os usuários tendem a ser mais diversificados e estáveis, principalmente devido à alta quantidade de setores relacionados a serviços. Papaconstantinou, Sakurai e Wyckoff (1998) também verificou o impacto do gasto em P&D de forma direta e indireta de 10 países da OCDE e chegou em conclusões semelhantes.

Um outro método de análise de redes muito parecido com o apresentado por Schnabl (1994; 1995) é o apresentado Leoncini, Maggioni e Montresor (1996). A forma de análise e os objetivos são os mesmos: o de levantar características de interdependências setoriais de uma economia do ponto de vista de sistemas tecnológicos. Os autores aplicaram seus conceitos para comparar os sistemas tecnológicos da Itália e da Alemanha, e perceberam que o segundo era caracterizado por um alto nível de conexões sistêmicas de forma bem distribuída entre os setores industriais, enquanto o primeiro era caracterizado por um sistema tecnológico segmentado em uma estrutura dualística onde poucos setores de alta intensidade tecnológica coexistiam com um conjunto de setores tradicionais. Leoncini e Montresor (2003) aplicou a mesma técnica em um conjunto maior de países pertencentes a OCDE, evidenciando as diferenças dos sistemas tecnológicos entre os países ao longo do tempo.

Por fim, cabe ressaltar que o tema interdependência tecnológica setorial é amplamente discutido por abordagens mais gerais e sistêmicas como as de sistemas nacionais de inovação (e.g. LUNDVALL et al., 2002), sistemas setoriais de inovação (e.g. MALERBA, 2002) e sistemas tecnológicos (e.g. LEONCINI; MONTRESOR, 2003), que visam explorar características e capacidades inovadoras através de conjuntos e configurações institucionais e outros atributos intrínsecos do sistema econômico, como contextos históricos. Lundvall et al. (2002) e Andersen (2010) são mais céticos ao uso de matrizes de insumo-produto justamente por elas captarem apenas as trocas dentro do sistema produtivo, já Leoncini e Montresor (2003) utilizaram bastante a metodologia de insumo-produto em suas análises de sistemas tecnológicos ao buscarem captar também outros componentes importantes do sistema econômico, como as instituições governamentais e institutos de pesquisa e universidades. Isso depende basicamente da disponibilidade de dados desses outros componentes na análise proposta, não modificando de forma empírica a abordagem padrão iniciada por Schmookler (1966). O que se percebe é a falta de estudos desse tipo para economias em desenvolvimento, que devem apresentar particularidades importantes nos seus processos de difusão e interdependência tecnológica entre os setores econômicos.

### 3. Metodologia

A metodologia do artigo consiste na construção de matrizes de fluxos tecnológicos e na utilização de ferramentas para as análises de interdependência tecnológica setorial. Dessa maneira, as próximas subseções apresentam o uso de técnicas de insumo produto para a construção de fluxos tecnológicos, o método de análises de redes e a base de dados utilizada.

#### 3.1. Matrizes de fluxos tecnológicos

Dado o sistema econômico representado pela notação da matriz de insumo-produto, a relação entre o valor da produção e a demanda final (consumo final, exportações e investimentos) pode ser determinado pela equação 1:

$$x = Ax + y \quad (1)$$

Onde:  $x$  é o vetor do valor bruto da produção;  $A$  é a matriz dos coeficientes técnicos diretos de produção; e  $y$  é o vetor de demanda final.

A partir dessa representação, pode-se construir uma matriz de requerimentos técnicos diretos e indiretos (inversa de Leontief =  $(I - A)^{-1} = L$ ), no qual cada elemento representa o produto do setor  $i$  que é requerido (direta e indiretamente) por uma unidade da demanda final do setor  $j$ :

$$x = (I - A)^{-1} = Ly \quad (2)$$

Para a construção de uma matriz de fluxo de tecnologia  $H$ , que descreve a transferência de tecnologia incorporada nas relações intermediárias entre os setores, utiliza-se o conceito de setores verticalmente integrados utilizado por Momigliano e Siniscalco (1984). Neste caso, o gasto em P&D é projetado na matriz de insumo-produto. Isto se dá pela pré-multiplicação de uma matriz diagonal de intensidade do gasto em P&D setorial pela matriz de requerimentos técnicos diretos e indiretos:

$$H' = \hat{r}\hat{x}^{-1}L\hat{y} \quad (3)$$

Onde " $\hat{\cdot}$ " significa que o vetor foi transformado em uma matriz diagonal;  $\hat{r}$  é a matriz diagonal de gasto em P&D setorial e  $\hat{x}^{-1}$  é a matriz diagonal inversa do valor total da produção setorial, no qual  $\hat{r}\hat{x}^{-1}$  representa a intensidade do gasto em P&D setorial.

A matriz de fluxos de P&D incorporada nas transações de bens e serviços apresentada pela equação 3, chamada a partir de agora de matriz de fluxos tecnológicos, é comumente denominada na literatura como uma matriz de “estrutura nominal” (*actual-structure*), pois a mesma incorpora a estrutura fornecida pela demanda final nominal das matrizes de insumo-produto. Alternativamente, pode-se negligenciar a informação disponível da demanda final da equação 3:

$$H = \hat{r}\hat{x}^{-1}L \quad (4)$$

Onde a matriz de fluxos tecnológicos  $H$  representa as relações puramente tecnológicas do gasto em P&D incorporado em bens e serviços entre os setores econômicos, ou seja, na proporção da intensidade do gasto em P&D sobre os coeficientes técnicos diretos e indiretos da matriz  $L$ , não dependendo do tamanho e da estrutura da demanda final. Por este motivo, a matriz  $H$  é comumente denominada na literatura como uma matriz de “estrutura padrão” (*standard-structure*). Essa abordagem possui a vantagem de analisar as ligações setoriais em proporções ditadas pelos coeficientes técnicos das matrizes, sem a necessidade de explicitar volumes dos valores econômicos (demanda final) sobre os gastos em P&D representado pela matriz  $H'$ . Sob análise da estrutura padrão, cada célula de  $H$  representa o gasto em P&D incorporado em bens e serviços do setor  $i$  necessária para satisfazer a demanda final do setor  $j$ .

A mesma interpretação da matriz de fluxos tecnológicos diretos e indiretos  $H$ , com base nas transações interindustriais de consumo intermediário, pode ser analisada do ponto de vista das transações interindustriais diretas de investimentos. Neste caso, a intensidade do gasto em P&D do setor  $j$  ( $\hat{r}\hat{x}^{-1}$ ) é pré-multiplicada pelo coeficiente técnico direto de investimento ( $B$ ). Forma-se, assim, uma matriz de fluxos tecnológicos  $K$ , onde os gastos em P&D são incorporados na compra e venda direta de bens de capital:

$$K = \hat{r}\hat{x}^{-1}B \quad (5)$$

As interpretações dadas pelos coeficientes das matrizes  $H$  e  $K$  fornecem um quadro rigoroso para a análise da interdependência do sistema produtivo, no qual contempla toda a economia de um país. No entanto, como discutido na seção anterior, esse método representa uma mensuração de *rent spillover*, sem considerar as características da difusão do conhecimento tácito.

### 3.2. Análise de redes

Uma ferramenta útil para analisar os fluxos tecnológicos intersetoriais é por meio de análises de redes, que permitem caracterizar qualitativamente a abordagem de insumo-produto e revelar de maneira prática e visual características estruturais de uma economia. De maneira geral, a análise de rede é composta por uma transformação binária (*booleana*), ou seja, com valores “0” ou “1”, da matriz

de coeficientes técnicos  $A$  em uma matriz adjacente  $W$  de acordo com o estabelecimento de certo critério ou filtro ( $f$ ) de valores (MILLER; BLAIR, 2009). A ideia é que se  $a_{ij} < f$ , os valores são considerados relativamente insignificantes para o quadro econômico geral e podem ser ignorados. O contrário acontece se  $a_{ij} \geq f$ , estabelecendo relações relevantes entre os setores econômicos:

$$w_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{se } a_{ij} \geq f \\ 0 & \text{se } a_{ij} < f \end{cases} \quad (6)$$

Dessa maneira, a matriz  $W$  corresponde a uma transformação das transações quantitativas de insumo-produto da matriz  $A$  para uma matriz binária qualitativa. Após a “binarização”, vários métodos gráficos podem ser aplicados para as matrizes adjacentes  $W$ . Dentre elas, destaca-se o trabalho de Schnabl (1994, 1995), replicado por vários outros autores e inserida na análise de fluxos tecnológicos. O autor desenvolveu uma técnica denominada *subsystem minimal flow analysis* (SMFA). Segundo Schnabl (1994), para obter a estrutura completa das informações contidas na matriz  $A$ , deve-se calcular não apenas as ligações diretas, mas também as ligações indiretas dos estágios intermediários. Os impactos diretos e indiretos são proporcionados pela matriz de Leontief  $L$ , no qual a mesma pode ser decomposta em várias camadas  $n$  por meio de uma série de progressão geométrica:

$$L = (I - A)^{-1} = I + A + A^2 + A^3 + \dots + A^n \quad (7)$$

Dada a matriz de fluxos tecnológicos  $H = \hat{r}\hat{x}^{-1}L$  (equação 4), a mesma também pode ser definida em camadas de acordo com a equação 7:

$$H_1 = \hat{r}\hat{x}^{-1}A \quad (8)$$

$$H_2 = \hat{r}\hat{x}^{-1}A^2 \quad (9)$$

$$\dots$$

$$H_n = \hat{r}\hat{x}^{-1}A^n \quad (10)$$

Onde cada matriz  $H_n$ , sendo  $n = 1, 2, \dots, n$ , reflete uma camada da cadeia de fluxos intermediários da matriz original  $H$ . As camadas  $H_1, H_2, \dots, H_n$  obtidas nesse processo são então transformadas em matrizes binárias adjacentes  $W_1, W_2, \dots, W_n$ , de acordo com um valor de filtro  $f$  (equação 6). As ligações diretas e indiretas das matrizes  $W_n$  podem então ser traçadas de uma forma que corresponda aos diferentes números de camadas combinadas para estabelecer uma ligação, ou seja, ao “comprimento” das ligações. Isso é feito por meio da formação das matrizes  $W^n$ :

$$W^n = W_n W^{n-1} \quad (11)$$

Onde a sequência de  $W^n$  mostra quantos comprimentos de cadeia  $n$  existem entre os setores. Por exemplo, cada elemento  $w_{ij}$  de  $W^2$  contém o valor 1 se, e somente se, cada elemento  $w_{ij}$  de  $W^1$  também for igual a 1, refletindo 2 estágios de conexão entre os setores  $i$  e  $j$ . Dessa maneira, as matrizes  $W^n$  incluem todos os fluxos dos estágios intermediários, ao invés de analisar apenas os fluxos dos estágios intermediários de partida e depois tratando-os como constantes. Adicionalmente, uma matriz de dependência  $U$  pode ser derivada por meio de uma soma *booleana* (i.e.  $1 + 1 = \#1$ ) das matrizes  $W^n$ :

$$U = \#(W^1 + W^2 + \dots + W^{n-1}) \quad (12)$$

Onde: o símbolo  $\#$  significa adição lógica *booleana*. Assim, dado um valor de filtro  $f$ , se  $u_{ij} = 1$  significa que há uma ligação direta e/ou indireta significativa entre dois setores, caso  $u_{ij} = 0$  significa que não há ligações significativas entre dois setores. A mesma análise descrita também pode

ser feita para os fluxos tecnológicos incorporados em bens de capital simplesmente substituindo a matriz  $A$  pela matriz  $B$  e fazendo o mesmo processo de binarização.

A maior limitação das análises de rede é a definição do filtro  $f$ , que de maneira geral é escolhido de maneira arbitrária na literatura. Quanto maior for o valor do filtro, mais a análise se concentrará nas relações intersectoriais mais intensas, e, quanto menor for o valor do filtro, mais a análise se torna frouxa por selecionar relações pouco intensas. No limite, um  $f = 0$  mostraria valores iguais a 1 em todas as células da matriz  $U$ .

Um valor de  $f$  ótimo estaria alocado em algum ponto médio da escala de  $f$ 's possíveis. Para a análise estrutural da rede de fluxos tecnológicos, o importante é escolher um filtro que combine suficientemente a abrangência da estrutura da economia ao mesmo tempo em que a reduza para a sua parte substancial e analítica. Tanto a “abrangência”, quanto a “redução substancial”, são condições qualitativas que devem ser concretizadas de maneira a deixar a análise operacional (SCHNABL, 1994). Para os dados aplicados neste artigo, buscou-se uma análise sensível para mapear uma escala de  $f$ 's e selecionar um ponto que compreendesse bem o padrão de fluxos tecnológicos da economia brasileira, mantendo-se ao mesmo tempo um número de setores significativos e as especificidades dos setores mais representativos.

### 3.2.1. Densidade e centralidade da rede

Além do processo de transformação da matriz de fluxos tecnológicos em uma matriz binária qualitativa, outras ferramentas de análises de redes também são úteis para a compreensão da estrutura de uma economia. Algumas dessas ferramentas são os índices de densidade e centralidade da rede. Enquanto que a densidade é uma característica de toda a rede, a centralidade é mais voltada para as características de seus nós (setores). Os conceitos e índices tratados aqui foram embasados por Leoncini e Montresor (2003) em seus estudos sobre sistemas tecnológicos.

A densidade ( $D$ ) de uma matriz composta de  $n$  setores, ou seja, a matriz de dependência binária  $U$  (equação 12), dado um valor de  $f$  estabelecido, é definida como a razão entre o número de ligações ( $e$ ) entre os setores e o número total de ligações possíveis:

$$D(f) = \frac{e}{n(n-1)} \quad (13)$$

A equação 13 mostra que quanto maior for o valor de  $D$ , maior será a densidade da rede, ou seja, mais a estrutura de fluxos tecnológicos entre os setores de uma economia é conectada, apresentando-se uma maior coesão entre os *spillovers* setoriais. Redes mais densas mostram economias mais ativas e sólidas e pode ser interpretada como economias de maior complexidade e sofisticação econômica ou tecnológica. Como o valor da densidade de rede depende do valor de  $f$ , comparações intertemporais de fluxos tecnológicos de um mesmo país ou entre países devem se adequar a um mesmo valor de  $f$ .

Já o índice de centralidade por setor é composto pelo total de ligações que um setor  $j$  recebe como *input* ( $C_{in}^j$ ) e fornece como *output* ( $C_{out}^j$ ):

$$C_{in}^j = \sum i_{in} \quad (14)$$

$$C_{out}^j = \sum i_{out} \quad (15)$$

Onde  $i_{in}$  e  $i_{out}$  indicam os setores que, respectivamente, utilizam e fornecem P&D ou outras atividades inovativas incorporadas em bens e serviços. Dessa maneira, os indicadores de centralidade ajudam a determinar se um setor é dependente ou dispersivo em relação aos seus fluxos tecnológicos.

Outro indicador utilizado em análises de rede é o índice de centralidade da rede, também composto pela sua parte *input* ( $C_{in}$ ) e pela sua parte *output* ( $C_{out}$ ). Este índice pode ser definido como o somatório da diferença entre o índice de centralidade do setor mais central da rede e o índice de

centralidade do setor  $j$  ( $C^{J*} - C^J$ ) sobre o nível máximo possível de centralidade da rede composta por  $n$  setores  $((n - 1)(n - 2))$ :

$$C_{in}(f) = \frac{\sum_j (C_{in}^{J*} - C_{in}^J)}{(n-1)(n-2)} \quad (16)$$

$$C_{out}(f) = \frac{\sum_j (C_{out}^{J*} - C_{out}^J)}{(n-1)(n-2)} \quad (17)$$

De forma geral, um alto índice de centralidade da rede significa que a mesma possui maiores diferenças entre as posições de centralidade dos setores, enquanto que um baixo índice significa que a rede possui posições de centralidade similares. De outra maneira, um alto grau de centralidade da rede significa que as participações setoriais podem ser consideradas mais hierárquicas, enquanto que um baixo grau de centralidade da rede significa que as participações setoriais podem ser consideradas mais atomizadas. Segundo Leoncini e Montreser (2003), para o caso dos fluxos tecnológicos, redes mais hierárquicas podem ser menos propícias para relações tecnológicas mais interativas e complexas entre os setores do que redes mais atomizadas.

### 3.3. Base de dados

A base de dados para a construção das matrizes de fluxos tecnológicos para o Brasil exige a compatibilização de quatro fontes de dados secundárias: i) matrizes de insumo-produto (MIP), disponibilizadas pelo IBGE a cada cinco anos; ii) estimações das MIPs entre os anos 2000 e 2014, estimadas e disponibilizadas por Passoni e Freitas (2017), com base nos dados das MIPs e do Sistema de Contas Nacionais (SCN), também do IBGE; iii) Matrizes de Absorção de Investimentos (MAI), estimadas e disponibilizadas por Miguez (2016), também com base nos dados do SCN para os anos entre 2000 e 2013; e iv) dados de P&D em níveis setoriais, disponibilizados pelo IBGE por meio da Pesquisa de Inovação (Pintec), disponível para os anos 2000, 2003, 2005, 2008, 2011 e 2014. Os maiores problemas de compatibilização dos dados se referem a abrangência da série de anos disponíveis, divergências nas classificações de atividades econômicas, e, para o caso das matrizes de insumo-produto, mudanças de metodologias de cálculo ao longo de sua série.

As matrizes de insumo-produto para a economia brasileira são calculadas pelo IBGE e têm sido divulgadas a cada cinco anos para os anos com finais zero e cinco. A última MIP disponibilizada é para o ano de 2010. Como os dados de P&D e outras atividades inovativas estão disponíveis apenas a partir de 2000, as MIPs originais disponíveis para este estudo se restringem aos períodos 2000, 2005 e 2010. Na tentativa de preencher as lacunas dos anos para as quais as MIPs não são divulgadas oficialmente, existem algumas técnicas de estimação e atualização das matrizes com base em informações adicionais, advindas das tabelas de recursos e usos (TRUs), do Sistema de Contas Nacionais (SCN), divulgados periodicamente pelo IBGE. No Brasil, alguns autores como Guilhoto e Sesso Filho (2005), Grijó e Bêrni (2006) e Martinez (2015) propuseram alguns métodos de estimação das matrizes brasileiras.

Para este artigo, optou-se por utilizar as estimações propostas, detalhadas e disponibilizadas por Passoni e Freitas (2017), em metodologia sugerida por Grijó e Bêrni (2006). Esta metodologia consiste na utilização das informações estruturais presentes nas MIPs oficiais com dados anuais disponíveis das TRUs. De maneira geral, o método consiste em gerar informações estruturais (*mark-downs*) das MIPs originais, criando proporções que serão preenchidas pelos dados contidos nas TRUs de cada ano que se deseja estimar. Técnicas de ajustes e balanceamento das matrizes também foram realizadas por meio do método de ajustamento RAS, tornando as informações das TRUs compatíveis com as estruturas das MIPs.

No entanto, a compatibilização de uma série completa de matrizes insumo-produto possivelmente estimadas entre 2000 e 2014 ainda apresenta dificuldades devido à mudança de metodologia de cálculo das TRUs realizadas pelo IBGE durante este período. Entre os anos 2000 e 2009 as TRUs utilizaram como base de cálculo o SCN referência 2000, enquanto os dados a partir de



2010 seguem o método do SCN referência 2010. Dentre as principais mudanças se encontram uma nova classificação de atividades econômicas (setores), passando da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) 1.0 para 2.0, mudanças no cálculo da Formação Bruta de Capital Fixo (FBCF), e mudanças nas pesquisas básicas estruturantes (IBGE, 2016a).

Para a compatibilização de uma série completa entre 2000 e 2014 estimada e disponibilizada por Passoni e Freitas (2017), os mesmos criaram um tradutor para adequar a classificação das atividades econômicas divergentes entre as matrizes. Essa agrupação forneceu uma estrutura de 42 atividades por 91 produtos ajustada para os anos 2000 a 2014. No entanto, para ainda ser compatível com os dados fornecidos pela Pintec e pelas MAIs, as MIPs chegaram a uma estrutura final de 35 setores por 91 produtos. Com as técnicas de transformação em matrizes quadradas necessárias para o modelo insumo-produto, chega-se a estrutura final de matrizes 35x35 para os anos 2000, 2003, 2005, 2008, 2011 e 2014, que são os anos nos quais dados de P&D setoriais estão disponíveis pela Pintec. Detalhes das agregações setoriais por códigos de CNAE e SCN são apresentadas na Tabela A2, no Anexo. Mesmo com esse esforço de compatibilização, destaca-se ainda três grandes limitações.

Em primeiro lugar, as atividades econômicas em geral foram compatíveis entre si ao longo da série, porém, os setores de máquinas e equipamentos, eletrônicos, instrumentos médico-hospitalares, móveis e indústrias diversas tiveram que ser agregados em um único grande setor devido as mudanças das classificações. Essa grande agregação é problemática por agrupar setores de alta intensidade tecnológica e de bens de capital com setores de baixa intensidade tecnológica e de bens de consumo. No entanto, como apresentado por Passoni e Freitas (2017), a proporção de “móveis e indústrias diversas” nesse grupo é de apenas 19,82%, mostrando que o setor é dominado pelas atividades de maior conteúdo tecnológico (máquinas e equipamentos, eletrônicos e instrumentos médico-hospitalares).

Em segundo lugar, os dados da Pintec (IBGE, 2016b) não englobam todos os setores presentes nas MIPs e MAIs estimadas a 35 setores, pois a pesquisa está mais voltada às atividades industriais. Mesmo alguns setores de serviços que passaram a ser englobados pela Pintec em anos posteriores tiveram que ser descartados em uma análise estrutural entre 2000 e 2014 para manter a mesma estrutura. Dos 35 setores selecionados (ver Tabela A2, no Anexo), 22 possuem dados de P&D e outras atividades inovativas, que são os setores que englobam a indústria de transformação e extrativa. Logo, os fluxos tecnológicos apresentados neste artigo focam as transferências do setor industrial para todos os setores da economia. A hipótese, neste caso, é que os setores da agropecuária e dos serviços não investem ou investem muito pouco em P&D. Evidentemente, esta hipótese é irrealista para serviços mais intensivos em tecnologia.

Em terceiro lugar, as MAIs, necessárias para a construção dos fluxos tecnológicos incorporados nos investimentos só se encontram disponíveis até 2013. Dessa maneira, os fluxos tecnológicos incorporados no consumo intermediário compreendem o período 2000-2014, enquanto os fluxos tecnológicos incorporados no investimento compreendem apenas o período 2000-2011. Por fim, cabe ressaltar que as matrizes foram deflacionadas a preços do ano 2000 por meio de índices de preços por produto presente nas TRUs. Já os dados de gastos em P&D foram deflacionados para o ano base de 2000 por meio do Índice de Preços ao Produtor Amplo (IPA), mensurado pela Fundação Getúlio Vargas.

## 4. Resultados

As próximas subseções apresentam, respectivamente, as redes de fluxos tecnológicos incorporados nos bens intermediários e nos bens de capital.

### 4.1. Fluxos tecnológicos incorporados no consumo intermediário

A Tabela 1 apresenta os valores de *output* (*out*), ou seja, de ligações a jusante, e *input* (*in*), ou seja, de ligações a montante, das matrizes de fluxos tecnológicos binárias de P&D incorporado no consumo intermediário para os seis períodos analisados entre 2000 e 2014. Por questão de espaço e

como as transferências tecnológicas são mais hierarquizadas do que a absorção, a tabela apresenta apenas os setores que apresentaram as ligações a jusante em algum dos anos analisados, bem como as ligações de absorção tecnológica destes. Nas análises de redes das figuras a seguir é possível verificar com mais detalhes os fluxos tecnológicos. No final da tabela é apresentado o número total de ligações, os valores de centralidade da rede *out e in* e os valores de densidade da rede<sup>3</sup>.

Tabela 2 - Redes de fluxos tecnológicos, P&D incorporado no consumo intermediário, 2000-2014

	2000		2003		2005		2008		2011		2014	
	Out	In	Out	In	Out	In	Out	In	Out	In	Out	In
Indústria Extrativa	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0
Alimentos e Bebidas	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Têxtil	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1
Refino de Petróleo e Biocomb.	1	0	1	0	1	0	2	0	2	1	2	1
Química	7	0	4	0	6	0	6	1	12	1	5	1
Farmacêutica	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
Aço	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Metalurgia não-ferrosos	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0
M&E, Eletrônicos e Diversos	9	0	5	0	3	0	1	0	2	0	2	0
M&E Elétricos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1
Automóveis	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Autopeças	1	3	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1
Total de ligações	23	23	14	14	14	14	13	13	24	24	16	16
Centralidade da Rede	0,26	0,07	0,14	0,05	0,17	0,05	0,18	0,02	0,35	0,04	0,14	0,05
Densidade da Rede	0,0193		0,0118		0,0118		0,0109		0,0202		0,0134	

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 1 mostra que os anos 2000 e 2011 tiveram os maiores números de ligações intersetoriais, respectivamente, 23 e 24 ligações. Já os anos de 2003, 2005, 2008 e 2014 obtiveram valores similares e abaixo dos dois anos mencionados, respectivamente, com 14, 14, 13 e 16 ligações. Isso se traduz na densidade da rede de fluxos tecnológicos, que passou de 1,9% em 2000 para 1,3% em 2014. Dado um período de 14 anos, pode-se dizer que os fluxos tecnológicos da economia brasileira se mantiveram basicamente estáveis. O ano de 2000 se destaca pelo alto valor da proporção dos gastos em P&D em relação ao valor bruto da produção para todos os setores em comparação aos outros anos (ver Tabela A1, no Anexo). De qualquer forma, a densidade da rede não se modificou muito ao longo do tempo, mantendo-se praticamente idêntica entre 2003 e 2008.

A maior diferença se encontra para o ano de 2011, no qual o valor da proporção dos gastos em P&D em relação ao VBP para a economia brasileira cresce mais aceleradamente. Este período é marcado por um maior crescimento da economia brasileira entre 2010 e 2011<sup>4</sup>, que deve ter impulsionado um aumento dos gastos em esforços inovativos por parte das empresas. Em contrapartida, 2014 já é marcado por um período de desaceleração econômica<sup>5</sup>, voltando ao patamar de fluxos tecnológicos verificados entre 2003 e 2008. Em uma visão de longo prazo, não é possível afirmar que os fluxos tecnológicos aumentaram ou diminuíram ao longo dos anos 2000, mantendo-se basicamente estáveis nesse período.

A Tabela 1 também mostra que em 2000 e 2011, para os anos onde os fluxos tecnológicos foram maiores, a centralidade da rede a jusante (*output*) aumenta de maneira significativa. Em 2000

<sup>3</sup> O valor do filtro (*f*) escolhido para a análise de redes ao longo dos períodos foi de 0,0003. Como discutido na seção 3.2, foram testados vários valores com a finalidade de selecionar as ligações tecnológicas mais intensas e representativas. De maneira geral, observou-se que os setores mais representativos continuam sendo os mesmos independentemente do filtro escolhido, variando mais a quantidade de ligações para cada setor. Por exemplo, em 2011 a indústria química apresentou uma quantidade de 16 ligações com um filtro de 0,0002 e de 9 ligações com um filtro de 0,0004, ante as 12 ligações observáveis com o filtro 0,0003 escolhido. Optou-se por selecionar um filtro intermediário que compreendesse tanto a abrangência da estrutura da economia, quanto a sua parte substancial e analítica.

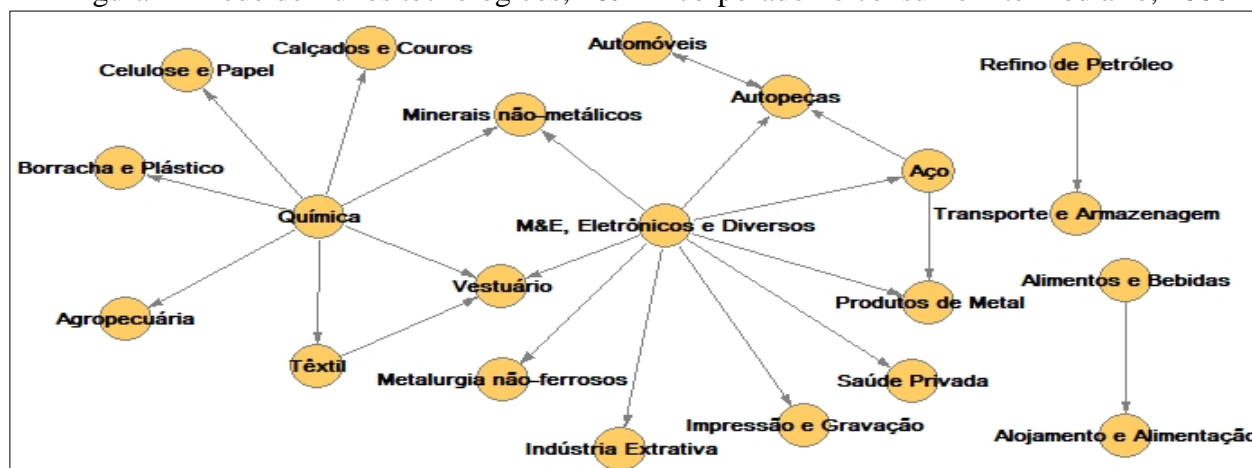
<sup>4</sup> A taxa de crescimento do PIB no Brasil em 2010 foi de 7,5% e em 2011 de 4,0% em dados revisados pelos IBGE (2017).

<sup>5</sup> A taxa de crescimento do PIB em 2014 no Brasil foi de apenas 0,5%, seguido por taxas negativas em 2015 e 2016 (IBGE, 2017).

este dado chega ao valor de 0,26 e em 2011 a 0,35, ante os valores estáveis entre 0,14 e 0,18 para os outros anos. Isso mostra que o maior número de ligações nesses dois anos se deve a uma maior hierarquização a jusante da rede, ou seja, ao maior transbordamento de alguns setores específicos. Analisando as ligações a jusante, percebe-se que em 2000 o maior número de ligações se deu por causa do setor de “M&E, eletrônicos e diversos” com 9 ligações, enquanto que em 2011 o maior número de ligações se deu por causa da indústria química, com 12 ligações. Já os valores de centralidade da rede a montante (*input*) praticamente não mudaram ao longo do tempo, evidenciando-se que a absorção tecnológica é menos hierárquica e mais estável.

A Tabela 1, no entanto, não fornece com detalhes para qual setor determinada indústria transborda ou absorve P&D incorporado. As trocas de fluxos tecnológicos são melhores observadas por redes gráficas de ligações intersetoriais. A Figura 1 apresenta a rede de fluxos tecnológicos de P&D incorporado no consumo intermediário para o ano 2000.

Figura 1 - Rede de fluxos tecnológicos, P&D incorporado no consumo intermediário, 2000

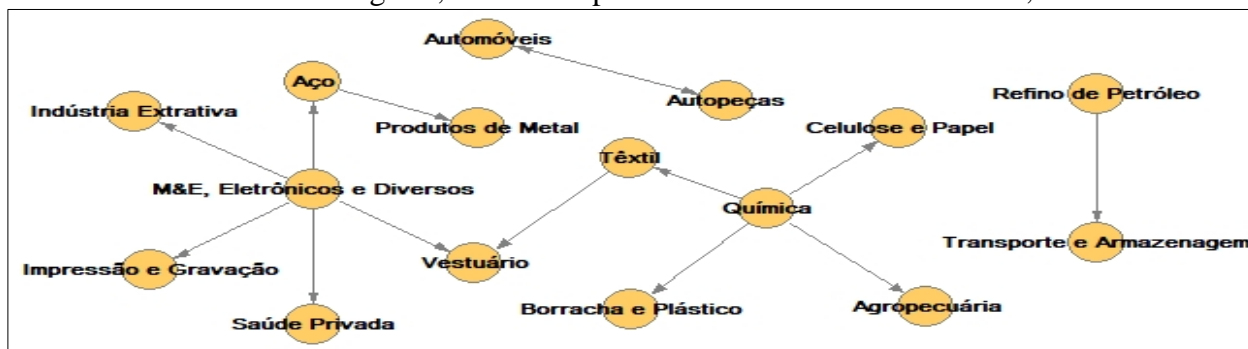


Fonte: Elaboração própria.

Como já era possível identificar pela Tabela 1, a indústria química e o setor de “M&E, eletrônicos e diversos” são centrais nos *spillovers* de P&D para o ano 2000. Enquanto a indústria química possui mais relações com indústrias ditas tradicionais (calçados e couro, têxtil, vestuário) e *commodities* agroindustriais (celulose e papel, agronegócio), o setor de M&E, eletrônicos e diversos possui uma ligação maior com setores industriais próximos à cadeia de produtos da mineração (indústria extrativa, aço, produtos de metal, metalurgia de metais não-ferrosos). O setor de saúde privada também aparece como usuário dado os produtos ópticos e médico-hospitalares inseridos dentro do agregado de “M&E, eletrônicos e diversos”. Destaca-se também a relação bidirecional entre a indústria automotiva e de autopeças, mostrando a forte relação de *feedback* tecnológico entre os dois setores na economia brasileira. A relação da indústria de refino de petróleo com serviços de transporte e armazenagem e da indústria de alimentos e bebidas com os serviços de alojamento e alimentação aparecem como ligações isoladas com forte interdependência específica.

Como já se presumiu com a Tabela 1, a Figura 2 mostra que os fluxos tecnológicos de P&D incorporado diminuíram em 2003 na comparação com 2000. Essa diminuição se dá principalmente por meio dos menores fluxos proporcionados pela indústria química e de “M&E, eletrônicos e diversos”. No entanto, essas indústrias continuam como centrais na rede, possuindo as maiores ligações a jusante. Como a proporção dos gastos em P&D cai de maneira geral para o ano de 2003, apenas as relações intersetoriais mais intensas se sobrepõem. Neste caso, os maiores usuários de P&D incorporado da indústria química são representados pela agropecuária, celulose e papel, têxtil e borracha e plástico. Já a indústria de autopeças continua apresentando uma relação bidirecional com a indústria automotiva, mas deixa de apresentar uma relação forte como usuária do setor de M&E, eletrônicos e diversos. De maneira geral, as principais ligações não mudaram, havendo mais uma diminuição da densidade da rede pelos gastos em P&D serem menores.

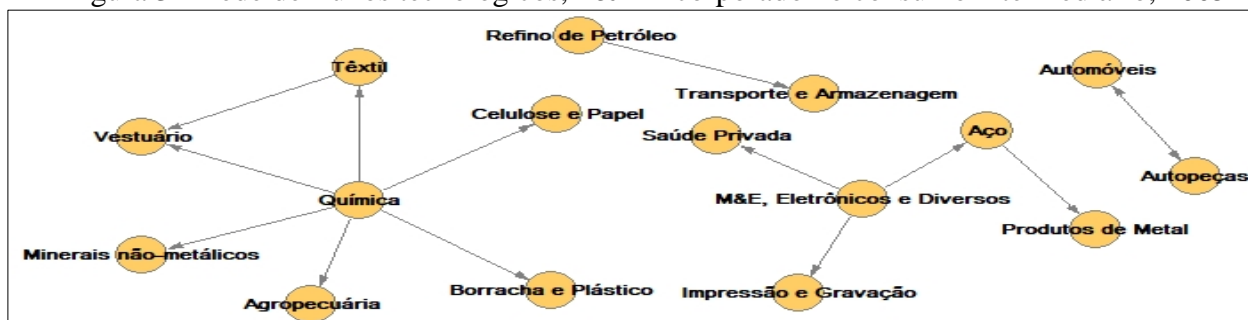
Figura **Erro! Nenhum texto com o estilo especificado foi encontrado no documento..1** - Rede de fluxos tecnológicos, P&D incorporado no consumo intermediário, 2003



Fonte: Elaboração própria.

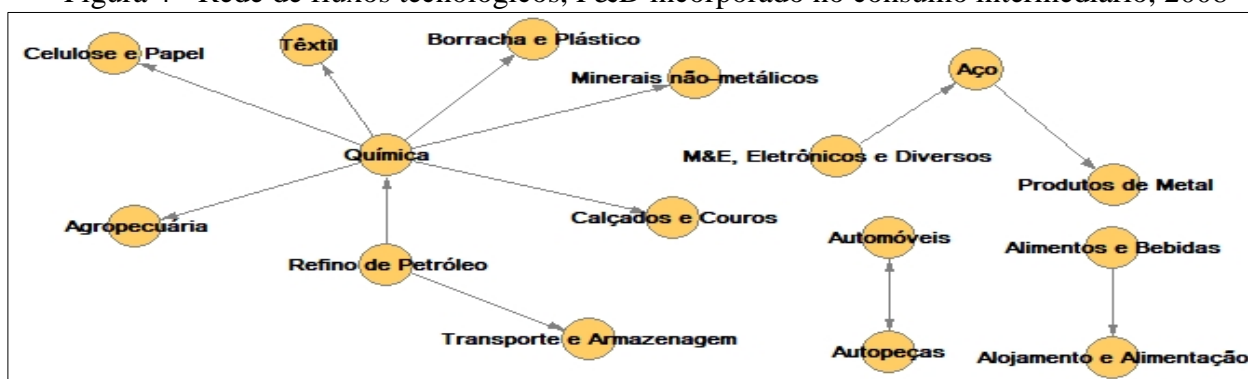
As Figuras 3 e 4 apresentam as redes de fluxos tecnológicos de P&D incorporado nas transações de bens intermediários, respectivamente, para os anos de 2005 e 2008. As duas redes são bem parecidas, no qual é possível perceber mais uma vez a centralidade da indústria química e a perda gradual dos fluxos tecnológicos do setor de “M&E, eletrônicos e diversos”, que deixa de ser central em comparação com as redes de 2000 e 2003. Dois fatores estatísticos explicam a perda dos *spillovers* de P&D incorporado nos bens intermediários desta indústria. Primeiro, há uma redução da proporção dos gastos em P&D sobre o VBP ao longo do tempo nesse setor. Em 2003 essa proporção era de 0,73%, passando para 0,55% em 2008 (ver Tabela A1 no Anexo). Segundo, há uma queda nos fluxos de consumo intermediário desse setor na economia brasileira ao longo do tempo. No entanto, grande parte dos bens do setor de “M&E, eletrônicos e diversos” é demandada como formação bruta de capital fixo (FBCF), logo, a importância desse setor será ressaltada mais adiante na subseção 4.2 sobre os fluxos tecnológicos incorporados nos investimentos.

Figura 3 - Rede de fluxos tecnológicos, P&D incorporado no consumo intermediário, 2005



Fonte: Elaboração própria.

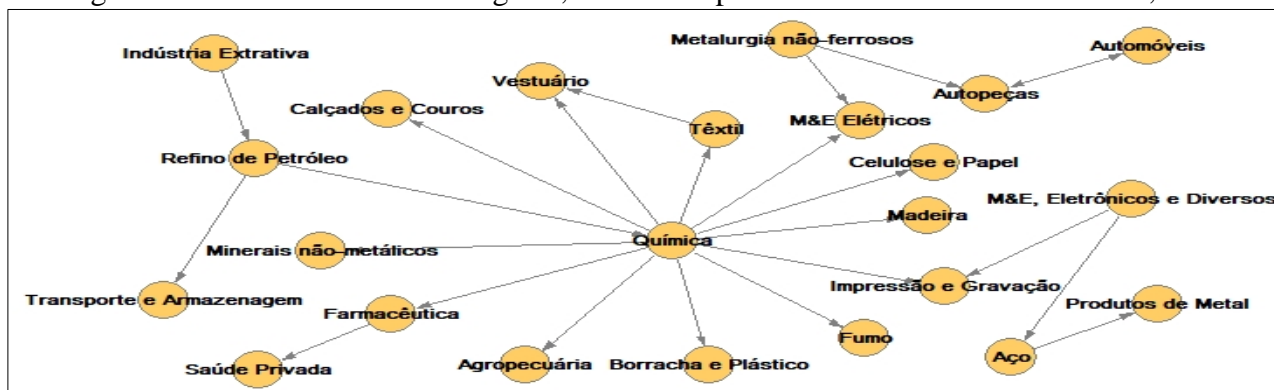
Figura 4 - Rede de fluxos tecnológicos, P&D incorporado no consumo intermediário, 2008



Fonte: Elaboração própria.

A Figura 5 mostra as redes de fluxos tecnológicos de P&D incorporado nas transações de bens intermediários para o ano de 2011. Como já ressaltado, há um aumento considerável da densidade da rede para esse ano, principalmente por causa da maior centralização da indústria química, que apresenta 12 ligações mais intensas de P&D incorporado nesse período. Os setores de transbordamento da indústria química continuam os mesmos, com a incorporação de *commodities* agroindustriais (fumo e madeira) e da indústria farmacêutica, que ainda não havia aparecido nos fluxos tecnológicos de maior destaque. Ao contrário do ano 2000, o setor de “M&E, eletrônicos e diversos” possui apenas duas ligações a jusante: indústria de impressão e gravação e aço. Acrescenta-se também uma ligação mais intensa de P&D incorporado entre a indústria extrativa e o setor de refino de petróleo em um período de bastantes esforços inovativos advindos da Petrobras.

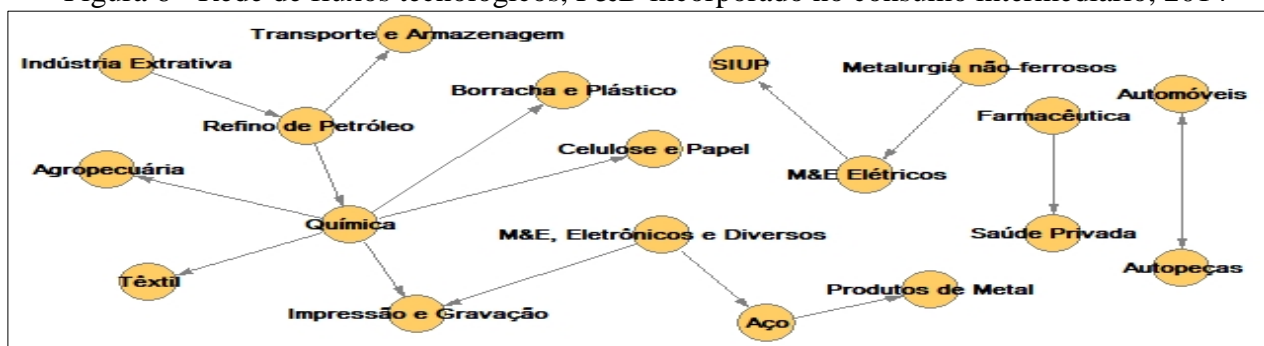
Figura 5 - Rede de fluxos tecnológicos, P&D incorporado no consumo intermediário, 2011



Fonte: Elaboração própria.

Por fim, a Figura 6 apresenta as redes de fluxos tecnológicos de P&D incorporado nas transações de bens intermediários para o ano de 2014. As ligações intersetoriais são bastante semelhantes com a rede apresentada para 2011, com a diferença da perda de fluxos da indústria química, que passa de 12 ligações a jusante para apenas 6, voltando ao patamar que apresentava em 2008. Logo, essa volatilidade das ligações da indústria química parece estar mais relacionada com o aumento da demanda dos outros setores em um período conjuntural de maior crescimento econômico do que de interdependência tecnológica setorial.

Figura 6 - Rede de fluxos tecnológicos, P&D incorporado no consumo intermediário, 2014



Fonte: Elaboração própria.

Ao longo dos períodos analisados, verifica-se uma consolidação da interdependência tecnológica setorial com base em P&D da indústria química para a agropecuária e para as indústrias de celulose e papel, borracha e plástico e têxtil. De fato, estas possuem os produtos químicos (defensivos agrícolas, solventes, resinas, branqueadores, alvejantes, corantes, reagentes químicos, etc.) como insumos de produção fundamentais para o seu processo produtivo e para as melhorias de desempenho. Por outro lado, verificou-se uma perda de dinamismo da indústria de “M&E, eletrônicos e diversos” nos fluxos de P&D a jusante sobre os bens intermediários, mantendo uma

interdependência tecnológica mais estável ao longo do tempo com a indústria siderúrgica (aço) e impressão e gravação. Como será visto adiante, produtos-chaves desta indústria como computadores e máquinas de bens de capital são classificados como FBCF e serão analisados com mais detalhes na próxima seção.

Outro aspecto importante foi a relação bidirecional entre as indústrias automotiva e de autopeças, que se manteve consistente ao longo do tempo. A relação tecnológica entre estes dois setores na economia brasileira já foi amplamente estudada na literatura, já que o setor de autopeças representa uma cadeia produtiva fundamental para as montadoras automotivas, não apenas em encomendas de peças e equipamentos, mas também em desenvolvimentos tecnológicos realizados em parcerias. Deve-se chamar atenção também para os serviços de informação e comunicação, que não foi colocado na análise como transferidores de tecnologia para dar uniformidade à série. No entanto, testes deste setor para os anos disponíveis (2005 a 2014) mostraram que o mesmo não recebeu nenhuma ligação a montante e forneceu ligações a jusante aos serviços para empresas e famílias em todos os anos e para a intermediação financeira para os anos de 2008 e 2011. Dessa maneira, os fluxos de P&D mais intensos dos serviços de informação e comunicação se restringiram a outros serviços, sem ligações relevantes com os setores industriais.

Os resultados apresentados mostraram algumas semelhanças e diferenças com os trabalhos empíricos de outros autores que também analisaram os fluxos tecnológicos por meio de análises de redes. Drejer (1999), por exemplo, também constatou que os setores fornecedores de tecnologia são bem mais concentrados do que os setores usuários na Dinamarca. Porém, a autora percebeu que a grande maioria dos usuários de inovação eram setores relacionados a serviços, fato este não verificado para a economia brasileira recente. Percebe-se pelas figuras anteriores o maior predomínio de setores industriais como usuários de inovação, principalmente a indústria tradicional e de *commodities* industriais. Isso ocorre devido ao predomínio da indústria química como fornecedora de P&D incorporado, que possui várias indústrias como principal destino.

Drejer (1999), Düring e Schnabl (2000) e Leoncini, Maggioni e Montresor (1996), em estudos na Alemanha, Japão e Itália, também verificaram o papel-chave das indústrias químicas e de máquinas e equipamentos como disseminadoras de inovação. No entanto, os autores também identificaram a importância deste último como usuário de inovação, característica esta não identificada nos fluxos tecnológicos mais intensos da economia brasileira. Como apresentado, o setor de máquinas e equipamentos brasileiro veio diminuindo o seu número de ligações ao longo do tempo, mostrando um menor dinamismo pelo menos no que se refere ao P&D incorporado nos bens de consumo intermediário.

#### 4.2. Fluxos tecnológicos incorporados nos investimentos

A Tabela 2 apresenta os valores de *output* (*out*) e *input* (*in*) das matrizes de fluxos tecnológicos binárias de P&D incorporado nos investimentos para cinco períodos entre 2000 e 2011. Assim como na Tabela 1, apresenta-se os fluxos do ponto de vista dos setores com ligações a jusante.

Tabela 2 - Redes de fluxos tecnológicos, P&D incorporado nos investimentos, 2000-2011

		2000		2003		2005		2008		2011	
		Out	In	Out	In	Out	In	Out	In	Out	In
19	M&E, Eletrônicos e Diversos	9	0	5	0	6	0	5	0	7	0
21	Automóveis	2	0	4	0	2	0	3	0	4	0
22	Autopeças	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
23	Outros Transportes	0	1	1	0	1	0	1	0	2	1
Total de ligações		12	12	11	11	10	10	10	10	14	14
Centralidade da Rede		0,27	0,05	0,15	0,08	0,18	0,08	0,15	0,08	0,21	0,08
Densidade da Rede		0,0101		0,0092		0,0084		0,0084		0,0118	

Fonte: Elaboração própria.

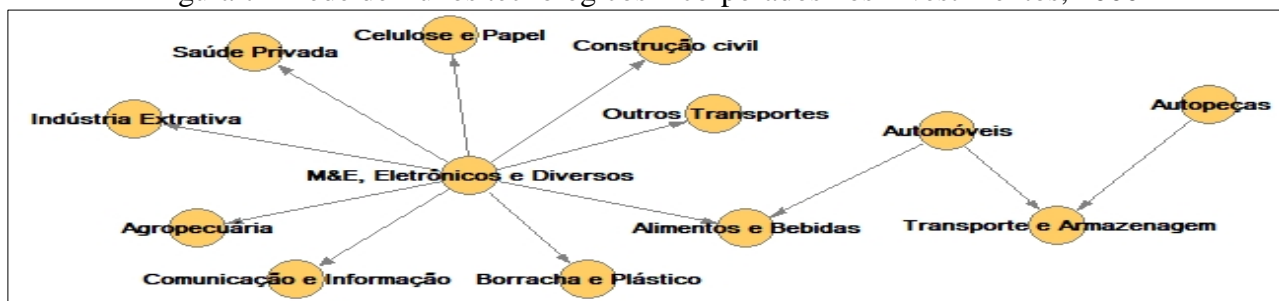


A Tabela 2 mostra que são basicamente dois setores responsáveis pelas ligações mais intensas de fluxos de P&D incorporado nos investimentos: “M&E, eletrônicos e diversos” e a indústria automotiva. Deve-se chamar atenção que o primeiro é bastante agregado, envolvendo máquinas e equipamentos mecânicos (máquinas industriais, motores, tratores, máquinas-ferramenta, etc.), equipamentos de informática (computadores, impressoras, etc.), equipamentos de transmissão e comunicação, entre outros. Logo, é natural que este setor domine as ligações a jusante dos fluxos tecnológicos nos investimentos. Já a indústria automotiva é historicamente relevante na indústria brasileira, pois os investimentos em caminhões como meio de transporte comercial têm grande peso nas taxas de investimentos no Brasil. Por outro lado, assim como nos fluxos de bens intermediários, as ligações a montante dos investimentos são mais homogêneas entre os setores industriais.

A Tabela 2 mostra também que os fluxos tecnológicos sobre os investimentos se mantiveram basicamente estáveis durante todo o período. As densidades das redes entre 2003 e 2008, por exemplo, possuem praticamente os mesmos valores. As redes de 2000 e 2014 são levemente mais densas, mas sem grandes destaques em comparação com os outros anos. Como já mencionado, a indústria de automóveis e, principalmente, “M&E, eletrônicos e diversos” são chaves nas relações a jusante de tecnologia incorporado nos bens de capital. Esperava-se que estes fluxos fossem mais suscetíveis às flutuações econômicas, dado ao caráter mais incerto dos investimentos. Uma parte dessa observação pode ser explicada pela baixa taxa de investimento da economia brasileira, que segundo o IBGE (2017) não variou muito ao longo do período estudado (entre 17,9% e 20,6% do PIB). Outra parte pode ser explicada pela restrição quanto aos setores provedores de bens de capital, que nesta análise fica ainda mais limitada dada a necessária agregação dos setores de máquinas e equipamentos e de equipamentos de informática e eletrônicos. Vale ressaltar também que os fluxos a jusante da construção civil, responsável pela maior proporção da absorção de investimentos da economia brasileira, é descartada da análise dada a falta de dados de P&D para este setor.

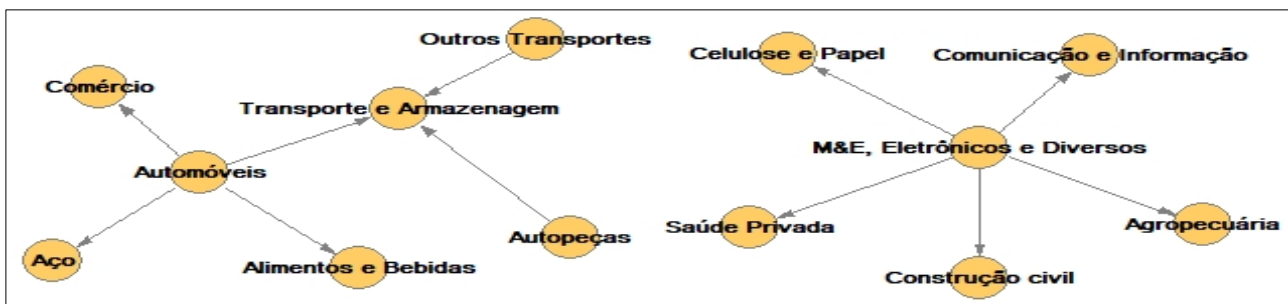
As Figuras 7, 8, 9, 10 e 11 apresentam as redes de fluxos tecnológicos incorporados nos investimentos, respectivamente, para os anos 2000, 2003, 2005, 2008 e 2011. As redes mostram que a estabilidade dos fluxos tecnológicos incorporados nos investimentos ocorre até mesmo para os setores usuários. Verifica-se que a agropecuária, a indústria de celulose e papel, a construção civil, os serviços de transporte e armazenagem e os serviços de saúde privada foram setores usuários de tecnologia incorporada em bens de capital para todos os anos analisados. Em menor grau também aparecem a indústria de alimentos e bebidas, a indústria extrativa e os serviços de comunicação e informação.

Figura 7 - Rede de fluxos tecnológicos incorporados nos investimentos, 2000



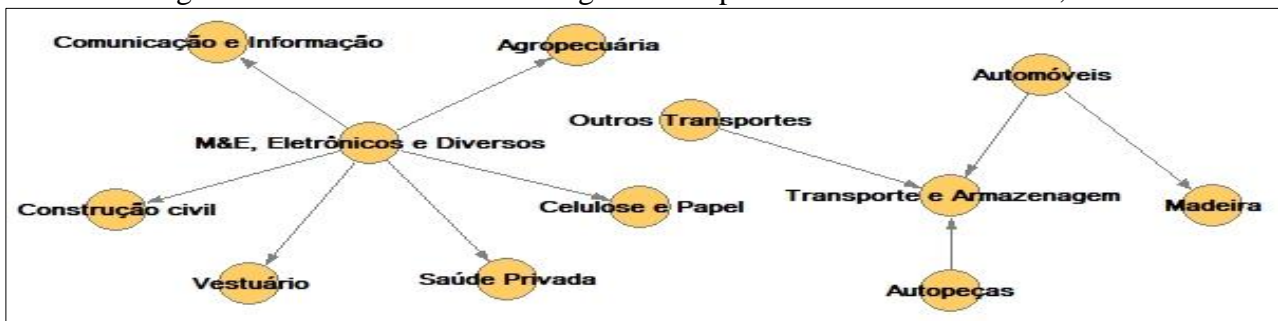
Fonte: Elaboração própria.

Figura 8 - Rede de fluxos tecnológicos incorporados nos investimentos, 2003



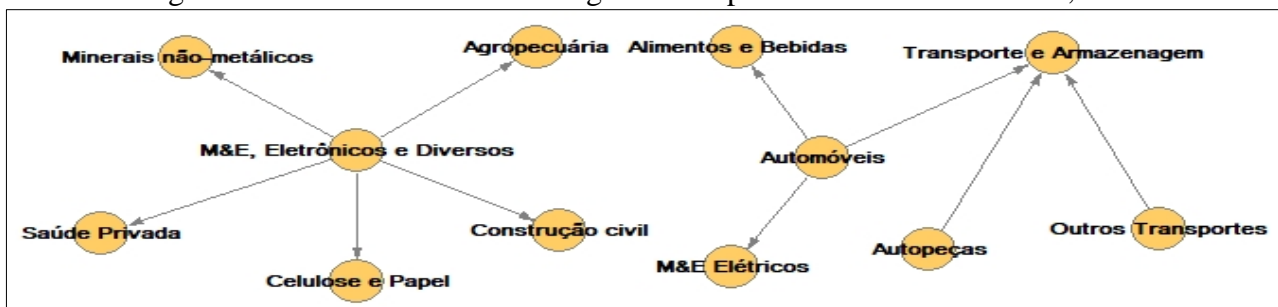
Fonte: Elaboração própria.

Figura 9 - Rede de fluxos tecnológicos incorporados nos investimentos, 2005



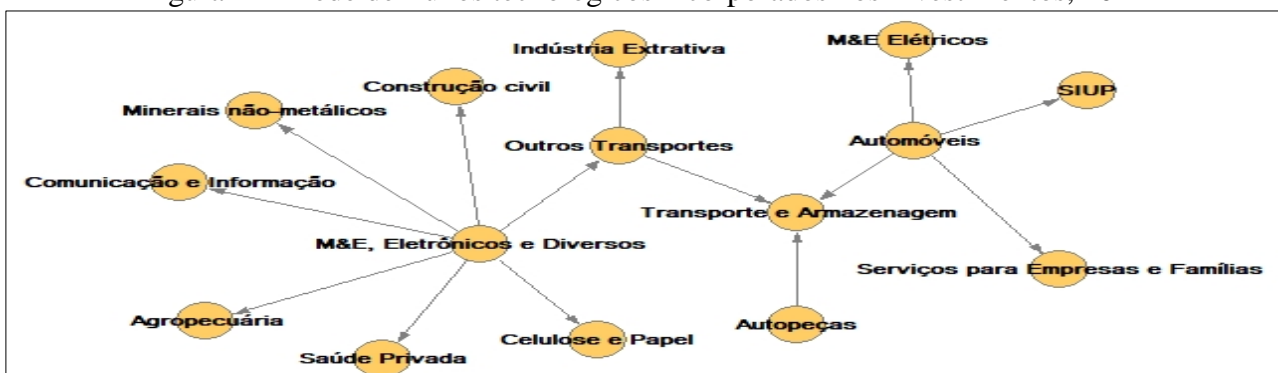
Fonte: Elaboração própria.

Figura 10 - Rede de fluxos tecnológicos incorporados nos investimentos, 2008



Fonte: Elaboração própria.

Figura 11 - Rede de fluxos tecnológicos incorporados nos investimentos, 2011



Fonte: Elaboração própria.

De modo geral, as redes de fluxos tecnológicos incorporados nos investimentos apresentaram densidades similares e mostraram algumas relações estáveis de interdependência tecnológica setorial. Algumas dessas relações foram esperadas, como os contínuos fluxos de investimentos da indústria automotiva, de autopeças e outros transportes para os serviços de transporte e armazenagem. A transferência de tecnologia incorporada em bens de capital do setor de “M&E, eletrônicos e diversos” com a saúde privada provavelmente está relacionada com os equipamentos e instrumentos médico-hospitalares. Já as fortes relações da indústria de máquinas e equipamentos com a agropecuária, a



indústria de celulose e papel e a construção civil devem ser explicados pelo forte crescimento desses setores nos anos 2000 na economia brasileira. Não foi encontrado na literatura o uso de matrizes de capital em análises de redes para efeito de comparação com outros estudos.

## 5. Considerações finais

Este artigo propôs mapear estruturalmente a interdependência tecnológica setorial da economia brasileira a fim de identificar o seu perfil e os setores-chaves do ponto de vista da tecnologia ou do conhecimento. Para isso, foram estimados os fluxos tecnológicos de P&D incorporados nos bens intermediários e nos bens de capital adquiridos pelos setores da economia brasileira entre 2000 e 2014. As análises mostraram algumas evidências conjunturais de fluxos tecnológicos para alguns determinados anos, porém, foram ainda mais ressaltadas as características estruturais de interdependência tecnológica setorial ao longo dos anos. As principais evidências são compiladas a seguir.

Em primeiro lugar, a estrutura de interdependência tecnológica setorial da economia brasileira entre 2000 e 2014 apresentou mais estabilidade do que modificações ao longo do tempo. Isso é evidenciado por meio da densidade das redes de fluxos tecnológicos, que pouco variaram entre os anos. Isso acontece por dois motivos. Primeiro, isso é sinal de baixa mudança estrutural da economia brasileira durante esse período, com estabilidade nos fluxos comerciais representados pelas matrizes de insumo-produto. Segundo, pelo baixo crescimento na intensidade dos gastos em P&D e outras atividades inovativas de toda a economia, o que não permite o aumento da densidade (complexidade) da rede de fluxos tecnológicos.

Em segundo lugar, os fluxos tecnológicos parecem ser menos voláteis quando se considera o gasto em P&D incorporado nos bens de capital, o que não era esperado dada a característica deste tipo de produto. Pelo lado da oferta, isso ocorre devido ao baixo número de setores fornecedores de bens de capital (“M&E, eletrônico e diversos” e automóveis), ainda menor devido ao nível de classificação exposto. Já pelo lado da demanda, foi possível identificar setores que absorvem tecnologia incorporada nos investimentos de forma contínua e mais intensa, como a agropecuária, a indústria de celulose e papel e a construção civil. Setores estes que de fato possuíram um alto crescimento nos anos 2000.

Em terceiro lugar, foi possível identificar que os setores-chaves do ponto de vista da transferência de tecnologia incorporada foram os setores da química (bens intermediários) e “M&E, eletrônicos e diversos” (principalmente bens de capital). Já a identificação de setores-chaves do ponto de vista da absorção de tecnologia incorporada é mais difícil, pois as ligações à montante apresentaram maior dispersão (menor centralidade). Mesmo assim é possível perceber uma importância maior dos setores de automóveis e autopeças devido ao perfil dessas indústrias de possuírem maiores encadeamento para trás. Dessa maneira, estímulos na demanda destes setores poderiam potencialmente aumentar o investimento em P&D de toda a economia, já que suas relações intersetoriais demandariam tecnologia incorporada de uma gama maior de outros setores. No entanto, os canais de transmissão de aumento em esforços inovativos de uma economia são mais complexos e incertos e devem também depender da estrutura técnico científica e de políticas pelo lado da oferta.

Por fim, deve-se chamar atenção para uma limitação do estudo quanto a falta de uma mensuração dos fluxos tecnológicos importados, principalmente de bens de capital, que devem apresentar relações importantes e específicas para a estrutura de interdependência tecnológica setorial da economia brasileira.

## Referências

ANDERSEN, E. S. Approaching national systems of innovation from the production and linkage structure. In: LUNDVALL, B. A. **National systems of innovation: toward a theory of innovation and interactive learning**. London: Anthem Press: 2010.

ARCHIBUGI, D. In search of a useful measure of technological innovation (to make economists happy without discontending technologists). **Technological Forecasting and Social Change**, v. 34, p. 253-277, 1988.

DREJER, I. Comparing patterns of industrial interdependence in national systems of innovation: a study of Germany, the United Kingdom, Japan and the United States. **Economic Systems Research**, v. 12, n. 3, p. 377-399, 2000.

DÜRING, A.; SCHNABL, H. Imputed interindustry technology flows: a comparative SMFA analysis. **Economic System Research**, v. 12, n. 3, p. 363-375, 2000.

GRIJÓ, E. BÊRNI, D.A. Metodologia completa para a estimativa de matrizes de insumo-produto. **Teoria e evidência econômica**, v. 14, n. 26, p. 9-42, 2006.

GRILICHES, Z. Issues in Assessing the Contribution of R&D to Productivity Growth. **Bell Journal of Economics**, v. 10, n. 1, p. 92-116, 1979.

GUILHOTO, J. J. M.; SESSO FILHO, U. A. Estimação da matriz insumo-produto a partir de dados preliminares das Contas Nacionais. **Economia Aplicada**, v. 9, n. 2, p. 277-299, 2005.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE ESTATÍSTICA E GEOGRAFIA. **Matriz de Insumo-Produto**: Brasil: 2010. Coordenação de Contas Nacionais. Rio de Janeiro: IBGE, 2016a.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE ESTATÍSTICA E GEOGRAFIA. **Pesquisa de Inovação**: 2014. Coordenação de Indústria. Rio de Janeiro: IBGE, 2016b.

LEONCINI, R.; MAGGIONI, M. A.; MONTRESOR, S. Intersectoral innovation flows and national technological systems: network analysis for comparing Italy and Germany. **Research Policy**, v. 25, n. 3, p. 415-430, 1996.

LEONCINI, R.; MONTRESOR, S. **Technological systems and intersectoral innovation flows**. Cheltenham: Edward Elgar, 2003.

LUNDVALL, B. A. Innovation as an interactive process: from user-producer interaction to the national system of innovation. In: DOSI, G., FREEMAN, C., NELSON, R., SILVERBERG, G e SOETE, L. **Technical change and economic theory**, Pinter, London, 1988.

LUNDVALL, B. A.; JOHNSON, B.; ANDERSEN, E. S.; DALUM, B. National systems of production, innovation and competence building. **Research Policy**, v. 31, p. 213-231, 2002.

MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. **Input-output analysis: foundations and extensions**. 2 ed. New York: Cambridge University Press, 2009.

MALERBA, F. Sectoral systems of innovation and production. **Research Policy**, v. 31, p. 247-264, 2002.

MARENGO, L.; STERLACCHINI, A. Intersectoral technology flows: methodological aspects and empirical applications. **Metroeconomica**, v. 41, n. 1, p. 19-39, 1990.

MARTINEZ, T. S. **Método RAWS/RAW para estimação anual da Matriz de Insumo-Produto na referência 2000 das Contas Nacionais**. Texto para Discussão, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Brasília, Rio de Janeiro: IPEA, 2015.

MIGUEZ, T. de H. L. **Evolução da Formação Bruta de Capital Fixo na Economia Brasileira 2000-2013: Uma Análise Multissetorial a partir das Matrizes de Absorção de Investimento (MAIS)**. 2016. 155 f. Tese de Doutorado - Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

MOMIGLIANO, F.; SINISCALCO, D. Technology and international specialization. **BNL Quarterly Review**, n. 150, p. 257-284, 1984.

PAPACONSTANTINOU, G.; SAKURAI, N.; WYCKOFF, A. Domestic and international product-embodied R&D diffusion. **Research Policy**, v. 27, p. 301-314, 1998.

PASSONI, P. A.; FREITAS, F. Estrutura produtiva e indicadores de encadeamento na economia brasileira entre 2010 e 2014: uma análise multissetorial baseada no modelo insumo-produto. In: **45º Encontro Nacional de Economia**. Natal: ANPEC, 2017.

PAVITT, K. Sectorial patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory. **Research Policy**, v. 13, n. 6, p. 343-373, 1984.

ROSENBERG, N. Technological interdependence in the American economy. *Technology and Culture*, v. 20, n. 1, p. 25-50, 1979.

SCHNABL, H. The evolution of production structures, analyzed by a multi-layer procedure. **Economic Systems Research**, v. 6, n. 1, p. 51-68, 1994.

SCHNABL, H. The subsystem-MFA: a qualitative method for analyzing national innovation systems - the case of Germany. **Economics Systems Research**, v. 7, n. 4, p. 383-396, 1995.

SCHMOOKLER, J. **Invention and economic growth**. Harvard: Harvard University Press, 1966.

SCHERER, F. M. Inter-industry technology flows and productivity growth, **Review of Economics and Statistics**, v. 64, p. 627-634, 1982.

## Anexos

Tabela A1 - Gastos em P&D em relação ao valor bruto da produção (VBP), 2000-2014 (%)

	2000	2003	2005	2008	2011	2014
2 Indústria Extrativa	0,08	0,04	0,07	0,04	0,17	0,19
3 Alimentos e Bebidas	0,18	0,09	0,11	0,20	0,13	0,14
4 Fumo	0,54	0,42	0,22	0,72	0,49	0,48
5 Têxteis	0,22	0,16	0,17	0,13	0,21	0,12
6 Vestuário	0,10	0,14	0,12	0,06	0,11	0,17
7 Calçados e Couro	0,26	0,14	0,29	0,37	0,46	0,64
8 Madeira	0,14	0,09	0,11	0,09	0,26	0,17
9 Celulose e Papel	0,34	0,22	0,23	0,30	0,39	0,38
10 Impressão e Gravação	0,12	0,08	0,13	0,15	0,05	0,27
11 Refino de Petróleo e Biocomb.	0,59	0,40	0,51	0,70	0,87	0,67
12 Química	0,64	0,45	0,51	0,57	1,22	0,82
13 Farmacêutica	0,77	0,50	0,67	1,24	2,15	2,17
14 Borracha e Plástico	0,36	0,30	0,39	0,44	0,43	0,45
15 Minerais não-metálicos	0,26	0,21	0,33	0,14	0,20	0,31
16 Siderurgia	0,45	0,30	0,21	0,22	0,31	0,33
17 Metalurgia não-ferrosos	0,31	0,10	0,08	0,17	0,73	0,40

18	Metal	0,28	0,18	0,16	0,22	0,34	0,22
19	M&E, Eletrônicos e Diversos	1,10	0,73	0,71	0,55	0,66	0,85
20	M&E Elétricos	1,67	0,61	1,15	1,00	1,06	1,91
21	Automóveis	1,13	2,07	1,77	1,95	1,44	1,18
22	Autopeças	0,47	0,47	0,51	0,77	1,14	1,09
23	Outros Transportes	2,77	3,78	3,20	1,77	1,76	2,30
	Total	0,55	0,45	0,50	0,54	0,68	0,67

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do IBGE (2016a, 2016b).

Tabela A2 - Correspondência da classificação setorial das MIPs 2000-2014 estimadas (35 Setores) com os códigos da CNAE 1.0, CNAE 2.0, SCN ref. 2000 e SCN ref. 2010

	Setores	CNAE 1.0	CNAE 2.0	SCN ref. 2000	SCN ref. 2010
1	Agropecuária	01+02	01 a 03	101+102	191+192+280
2	Indústria Extrativa	10 a 14	05 a 09	201 a 203	580+680+791+792
3	Alimentos e Bebidas	15	10+11	301	1091 a 1093+1100
4	Fumo	16	12	302	1200
5	Têxtil	17	13	303	1300
6	Vestuário	18	14	304	1400
7	Calçados e Couro	19	15	305	1500
8	Madeira	20	16	306	1600
9	Celulose e Papel	21	17	307	1700
10	Impressão e Gravação	22	18	308	1800
11	Refino de Petróleo e Biocombustíveis	23	19	309+310	1991+1992
12	Química	24 (exceto 245)	20	311 a 317	2091 a 2093
13	Farmacêutica	245	21	313	2100
14	Borracha e Plástico	25	22	318	2200
15	Minerais não-metálicos	26	23	319+320	2300
16	Aço	271 a 273	241 a 243	321	2499
17	Metalurgia não-ferrosos	274+275	244+245	322	2492
18	Produtos de Metal	28	25	323	2500
19	Máquinas e Equipamentos, Eletrônicos e Diversos	29+30+32+ 33+36	26+28+ 31 a 33	324 a 326+328+ 329+334	2600+2800+ 3180+3300
20	Máquinas e equipamentos Elétricos	31	27	327	2700
21	Automóveis	341+342	291+292	330+331	2991
22	Autopeças	343 a 345	293 a 295	332	2992
23	Outros Transportes	35	30	333	3000
24	SIUP	40+41	35 a 39	401	3500+3680
25	Construção Civil	45	41 a 43	501	4180
26	Comércio	50 a 52	45 a 47	601	4500
27	Transporte e Armazenagem	60 a 64	49 a 53	701	4900+5000+ 5100+5280
28	Alojamento e alimentação	55	55+56	1102	5500+5600
29	Comunicação e Informação	642+72+92	58 a 63	801	5800+5980+ 6100+6280
30	Intermediação Financeira	65 a 67	64 a 66	901	6480
31	Serviços Imobiliários	70+71	68	1001	6800
32	Serviços prestados às Empresas e Famílias	502+527+704+ 725+73+74+ 91 a 93+95	69 a 82+ 90 a 97	1101+1103+ 1106	6980+7180+7380+ 7700+7880+8000+ 9080+9480+9700
33	Educação Privada	80	85	1104	8592
34	Saúde Privada	85	86 a 88	1105	8692
35	Serviços Públicos	75+80+85	84 a 87	1201 a 1203	8400+8591+8691

Fonte: Elaboração própria, a partir de classificações do IBGE (2016a; 2016b).