

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CAMPUS SOROCABA
CENTRO DE CIÊNCIAS EM GESTÃO E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA

LARISSA ALVES VILAS BÔAS

**INTERDEPENDÊNCIA PRODUTIVA E EMISSÕES EM SÃO PAULO: UMA
APLICAÇÃO DO MÉTODO DE EXTRAÇÃO HIPOTÉTICA**

SOROCABA

2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CAMPUS SOROCABA
CENTRO DE CIÊNCIAS EM GESTÃO E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA

LARISSA ALVES VILAS BÔAS

**INTERDEPENDÊNCIA PRODUTIVA E EMISSÕES EM SÃO PAULO: UMA
APLICAÇÃO DO MÉTODO DE EXTRAÇÃO HIPOTÉTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia
da Universidade Federal de São Carlos, *campus*
Sorocaba, para obtenção do título de bacharel
em Ciências Econômicas

Orientação: Prof. Dr. Alexandre Lopes Gomes

SOROCABA

2021

Bôas, Larissa Alves Vilas

Interdependência produtiva e emissões em São Paulo:
uma aplicação do método de extração hipotética /
Larissa Alves Vilas Bôas -- 2021.
41f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos,
campus Sorocaba, Sorocaba
Orientador (a): Alexandre Lopes Gomes
Banca Examinadora: Maria Aparecida de Oliveira,
Vinicius de Almeida Vale
Bibliografia

1. Emissões. 2. Insumo-Produto inter-regional. 3.
Extração hipotética. I. Bôas, Larissa Alves Vilas. II.
Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano -
CRB/8 6979

LARISSA ALVES VILAS BÔAS

**INTERDEPENDÊNCIA PRODUTIVA E EMISSÕES EM SÃO PAULO: UMA
APLICAÇÃO DO MÉTODO DE EXTRAÇÃO HIPOTÉTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia
da Universidade Federal de São Carlos, campus
Sorocaba, para obtenção do título de bacharel
em Ciências Econômicas.

Universidade Federal de São Carlos.

Sorocaba, 16 de novembro de 2021

Orientador

Prof. Dr. Alexandre Lopes Gomes

Examinador

Prof. Dra. Maria Aparecida Silva Oliveira

Examinador

Prof. Dr. Vinicius de Almeida Vale

RESUMO

BÔAS, Larissa Alves Vilas. Interdependência produtiva e emissões em São Paulo: uma aplicação do método de extração hipotética, 2021. 41f. Monografia (Graduação em Economia) – Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, 2021.

Devido à geração de gases efeito estufa (GEE) nos processos produtivos, diversas metodologias têm sido aplicadas com o objetivo de mensurar e acompanhar as emissões de países e regiões. Assim, a discussão sobre a responsabilidade de emissões é pertinente, ao investigar a poluição, não apenas sob o princípio da produção, mas também pela dependência dos demais setores por aqueles caracterizados intensivos em emissões, o princípio do consumo. Nesse sentido, a análise dos encadeamentos setoriais da economia permite verificar os fluxos diretos e indiretos de poluição. O presente trabalho busca trazer uma investigação da estrutura de dependência dos setores de São Paulo, por meio de uma matriz insumo-produto inter-regional, São Paulo e restante do Brasil, para o ano de 2011. Para isso, foi utilizada a aplicação do método de extração hipotética, que permite avaliar as relações setoriais e o grau de interdependência setorial e regional. Além disso, analisa-se pela interdependência produtiva a responsabilidade de emissões referente aos setores de São Paulo. Dentre os resultados encontrados, os principais setores determinados intensivos em poluição foram Transporte Terrestre, Outros Transportes, Metalurgia, Minerais Não Metálicos e, ainda, para a região de São Paulo, o setor Agropecuária. Os setores que apresentaram os encadeamentos mais significativos sob o ponto de vista da demanda foram Comércio e Serviços, Outras Indústrias, Química e Alimentos e Bebidas. Em relação à oferta, os setores apontados com relevante interdependência foram Comércio e Serviços, Outras Indústrias, Energético e Química. Verificou-se que os setores de maior interdependência produtiva não são identificados como intensivos em emissões, porém possuem dependência significativa pelos setores determinados intensivos, principalmente por Transporte Terrestre.

Palavras-chaves: Emissões. Interdependência. Insumo-Produto. Extração hipotética.

ABSTRACT

Due to the generation of greenhouse gases (GHG) in production processes, several methodologies have been applied in order to measure and monitor emissions from countries and regions. In this context, the discussion about the responsibility of emissions is important, by investigating the pollution, not only from the production principle, but also from the consumption, through the demand of other sectors by those characterized as pollution-intensive. Thus, the analysis of the sectorial linkages of the economy allows verifying the direct and indirect flows of pollution. This paper aims to bring an investigation of the dependency structure of São Paulo sectors through an interregional input-output matrix, São Paulo and the rest of Brazil, for the year of 2011. The hypothetical extraction method was used to investigate sectorial relations and the degree of sectorial and regional interdependence. In addition, the responsibility of emissions for São Paulo sectors is analyzed through trade flows. In the results, the sectors which was identified as pollution intensive were Land Transport, Other Transport, Metallurgy, Non- Metallic Mining, and for São Paulo, Agriculture. The sectors that presented the highlight backward linkages were Trade and Services, Other Industries, Chemicals and Food and Beverages. Through the forward effects, the sectors indicated as interdependent were Trade and Services, Other Industries, Energy and Chemicals. It was possible to verify that sectors not characterized as intensive in emissions have significant dependence on sectors determined as intensive, mainly Land Transport.

Keywords: Emissions. Interdependence. Input-Output. Hypothetical Extraction Method.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
3. METODOLOGIA	14
3.1 EFEITOS PARA FRENTE.....	17
3.2 COEFICIENTES DE INTENSIDADE DE EMISSÃO.....	17
3.3 TRATAMENTO DOS DADOS	18
4. RESULTADOS	19
4.1 ANÁLISE DOS COEFICIENTES DE INTENSIDADE DE EMISSÃO.....	19
4.2 INTERDEPENDÊNCIA SETORIAL	21
4.3 INTERDEPENDÊNCIA PARA FRENTE	27
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
REFERÊNCIAS	34
APÊNDICE A	38
ANEXO A	41

1 INTRODUÇÃO

As atividades econômicas e os efeitos de globalização intensificaram as emissões de gases efeito estufa (GEEs) e as mudanças climáticas. Nesse contexto, o debate sobre desenvolvimento sustentável tem se tornado importante, e especialistas têm estudado o tema sob diversas óticas na busca de definir políticas eficazes para a preservação do meio ambiente (ALI, 2015; BASTIANONI *et al.*, 2004; COPELAND & TAYLOR, 1994; FERNG, 2003; MUNKSGAARD & PEDERSEN, 2001).

Assim, para determinação de diretrizes e planos com objetivo de reduzir o impacto ambiental, diversas metodologias têm sido aplicadas a fim de estimar e acompanhar as emissões, bem como determinar as parcelas de redução das mesmas a serem atingidas a curto e longo prazo.

Nesse sentido, um dos primeiros acordos realizados foi o Protocolo de Quioto, celebrado no ano de 1997, que teve como proposta a redução das emissões de GEEs. No acordo, as emissões de cada país foram quantificadas conforme o princípio da produção, através do qual os países são responsáveis pelas emissões geradas no processo produtivo dentro de seus limites políticos territoriais. Segundo o princípio, o produtor é o responsável pela poluição gerada na produção dos bens e serviços, devido consumo energético interno e uso dos combustíveis (FERNG, 2003; MUNKSGAARD & PEDERSEN, 2001).

No entanto, autores, como Copeland e Taylor (1994) e Wyckoff e Roop (1994), contestaram as estimativas serem pautadas apenas sob a ótica da produção. Assim, discutiu-se sobre o fenômeno chamado *carbon leakage*, “fuga de carbono”, através do qual existe a possibilidade de um país apresentar redução nas emissões domésticas, frente à um aumento das importações intensivas em poluição. Nesta abordagem, o processo produtivo e geração de gases poluentes migrariam para além dos limites territoriais e, nesse contexto, a redução esperada da poluição, pode converter-se em aumento do impacto ambiental (FERNG, 2003; MUNKSGAARD & PEDERSEN, 2001; WYCKOFF & ROOP, 1994).

Neste contexto, Machado *et al.* (2001) analisaram o impacto do comércio internacional nas emissões brasileiras, utilizando dados do ano de 1995 e verificaram que o Brasil é exportador líquido de bens intensivos em carbono. Isto é, parte dos gases do efeito estufa gerados internamente são contabilizados como responsabilidade do país, ainda que digam respeito à produção de bens e serviços com demanda final e usufruto além dos limites brasileiros.

Vale (2014), ao analisar as emissões no comércio internacional para 40 países nos anos de 1995 a 2009, apontou que os países desenvolvidos apresentaram ao longo do período decréscimo nas emissões absolutas, enquanto os em desenvolvimento apresentaram acréscimo. O estudo verificou ainda o balanço de carbono dos países e, ao discutir os resultados para os Estados Unidos, apontou que, mesmo tendo decréscimo nas emissões absolutas, esse país é avaliado como importador líquido de CO₂. Assim, ao analisar conforme o princípio da produção, ter-se-ia um cenário associado à redução dos GEEs, por outro lado as emissões do processo produtivo seriam transferidas para o comércio internacional.

Dessa forma, tendo em vista que produtores são penalizados pelas emissões de bens dos quais não se beneficiam, há um debate sobre a determinação da parcela de responsabilidade pela poluição. Nesse contexto, autores como Bastianoni *et al.* (2004), Ferng (2003) e Munksgaard e Pedersen (2001) propuseram a abordagem pelo princípio do consumo. Segundo esse princípio, o consumidor é responsável pelas emissões geradas na produção de energia, bens e serviços, ainda que tenham sido importados.

Bastianoni *et al.* (2004) apontaram as consequências das abordagens do princípio de forma isolada. Segundo os autores, considerar as emissões apenas pelo consumo, diminuiria o incentivo dos produtores em reduzir o impacto ambiental, uma vez que políticas seriam atribuídas apenas sobre os demandantes finais. Por outro lado, há que se avaliar também que se não houver uma política de incentivos, os consumidores não serão sensíveis em assumir a sua parcela de responsabilidade.

Neste contexto, Bastianoni *et al.* (2004), Ferng (2003) e Munksgaard e Pedersen (2001) defendem a importância de a responsabilidade ser partilhada pelos envolvidos ao longo da cadeia produtiva. Segundo os autores, uma vez que as relações comerciais envolvem produtor e consumidor, a responsabilidade pela poluição gerada na produção deve incidir sobre ambas as partes. Dessa forma, colocam que para haver maior eficácia, as ações de mitigação das emissões devem considerar as relações de compra e venda dos fluxos comerciais.

As interações entre os setores na economia permitem verificar os fluxos de poluição diretos e indiretos. Por meio da análise dos encadeamentos setoriais, é possível identificar se a poluição está relacionada às variações do produto de determinado setor, às mudanças na demanda final, à dependência por outro setor intensivo em emissões, ou ainda à combinação desses efeitos. Ainda, há que se considerar as interações comerciais entre as regiões, que possibilitam à cadeia produtiva ter início e finalização em diferentes locais. De maneira que, a análise multi-regional permite explicar a distribuição espacial do produto e consumo e, com isso, das emissões (LEONTIEF, 1970; MILLER & BLAIR, 2009).

As relações inter-regionais dentro de um mesmo país, em geral, são mais significativas que as interações com o exterior. Assim, em consequência desta maior interdependência interna, realização de políticas direcionadas a apenas uma ou mais regiões, podem causar desdobramentos indesejáveis nas demais (HADDAD *et al.*, 2005).

Nesse contexto, a fim de identificar os encadeamentos setoriais da economia brasileira e interdependência regional sob a ótica da poluição, diversos estudos têm sido realizados, como Figueiredo *et al.* (2009), Hilgemberg (2005), Machado *et al.* (2001), Montoya *et al.* (2013), Santiago *et al.* (2010), Vale (2014), dentre outros.

Referente às regiões brasileiras, segundo os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021), São Paulo apresentou um crescimento da produção interna em torno de 7% ao ano entre 2010 e 2018. Ao longo desse período, o estado manteve a maior participação no PIB nacional, cerca de 32%, e também se destacou nas exportações nacionais, com uma participação média de 24%¹. A relevância da região foi destacada por alguns estudos, como Carvalho e Perobelli (2009), Guilhoto (2010), Perobelli *et al.* (2006) e Perobelli *et al.* (2010), ao investigarem as interações do estado de São Paulo dentro dos fluxos comerciais do Brasil e ao verificarem as intensidades de emissão de seus setores.

Perobelli *et al.* (2006) demonstraram que o crescimento dos demais estados brasileiros são influenciados de forma expressiva pelo crescimento de São Paulo. Ao avaliar dados do ano de 1996 para as 27 unidades da federação, os autores apontaram o destaque do estado de São Paulo em termos dos fluxos de compra e de venda. O estudo verificou ainda que, os demais estados apresentaram dependência significativa do restante do Brasil, enquanto o efeito inverso foi encontrado para São Paulo. Isto é, a dependência do restante do Brasil demonstrou mais relevante que os encadeamentos do estado para com os demais estados.

O Estado de São Paulo cumpre papel importante no que diz respeito à geração de emprego, renda e arrecadação de imposto. Guilhoto (2010), a partir de dados para o ano de 2002, verificou que o setor de indústria de transformação possui alta concentração em São Paulo, em relação ao restante do Brasil. O autor também apontou que o setor de serviços paulista apresentou o maior valor bruto de produção naquele ano e, importante na geração de renda, e em relação ao emprego, o estado apresentou 25% do pessoal ocupado na economia brasileira.

No ano de 2011, a participação setorial de São Paulo no PIB nacional foram: 54,96% do setor Químico, seguido de Outros Transportes (45,91%), Comércio e serviços (40,58%), Papel e celulose (39,71%), Outras Indústrias (38,51%), Têxtil (34,01%), Metalurgia (33,80%),

¹ Segundo os dados do COMEX STAT divulgados pelo Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços

Minerais não metálicos (32,55%), Energético (32,20%), Alimentos e bebidas (30,15%) e Transporte Terrestre (28,98%), Quanto às exportações os setores paulistas mais exportadores são Comércio e serviços (29,20%), Outras indústrias (25,63%) - que compreende setores como construção, fabricação de máquinas, automóveis - e por fim, Alimentos e bebidas (17,85%).

Assim, diante do que foi exposto, este trabalho pretende analisar a interdependência produtiva do estado de São Paulo e o restante do Brasil. Além disso, procura investigar as intensidades de emissões nos fluxos setoriais entre estas duas regiões, a fim de compreender se os fluxos monetários são dependentes de processos produtivos poluentes. Para isso, será utilizado o modelo de insumo-produto inter-regional para aplicar o método de extração hipotética, que permite avaliar as relações setoriais e o grau de interdependência setorial e regional.

Nesse sentido, o presente trabalho está organizado, em cinco seções. Na segunda seção, é feita uma abordagem da literatura sobre a interdependência setorial e regional, além do impacto das emissões de GEEs. Na terceira seção, está descrita a metodologia utilizada. Na quarta, apresenta-se os resultados obtidos e, por fim, na última seção, as considerações finais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem como objetivo apresentar alguns trabalhos desenvolvidos sobre os temas já mencionados. Assim, aborda-se a questão sobre as emissões e interdependência tanto em âmbito regional, como setorial. Também, são apresentados estudos que aplicaram o modelo de insumo-produto, bem como o método de extração hipotética.

Munksgaard e Pedersen (2001), ao debaterem sobre responsabilidade pela poluição gerada no processo produtivo, investigaram as emissões nas importações e exportações da Dinamarca. Para a análise, os autores elaboraram dois modelos de insumo-produto, sendo um pautado pelo princípio da produção e outro pelo princípio do consumidor, e desenvolveram o conceito de balança comercial de CO₂. Nesse sentido, observou-se que a balança comercial do país alterou-se de forma expressiva, passando de 0,5 milhão de toneladas de CO₂ para um déficit de 7 milhões ton/CO₂ no período de 1989 a 1994. Com isso, os autores afirmaram que parte crescente das emissões do país foram causadas por uma demanda externa.

Ainda sobre o debate referente às parcelas de responsabilidade das emissões, Ferng (2003) estimou a quantidade de poluição para Taiwan no ano de 1996. A partir da aplicação dos conceitos de pegada ecológica² e princípio do benefício³ no modelo de insumo-produto, o autor apontou que, sendo o país orientado para as exportações, as emissões contabilizadas pela produção foram expressivas.

Ali (2015) investigou os fluxos de poluição da Itália, através das relações entre os setores para dados do ano de 2011. A partir do uso do modelo de insumo-produto híbrido, aplicou o método de extração hipotética e analisou as ligações setoriais para frente e para trás, a fim de identificar dependências referentes as emissões diretas e indiretas. Dentre os 35 setores analisados, o autor apontou que apenas 9 são setores-chave intensivos em poluição, tanto na demanda, quanto na oferta. Isto é, pela dependência por tais setores, os demais se tornam intensivos indiretamente.

No âmbito nacional, Hilgemberg (2005) estudou o modelo inter-regional para o Brasil, e verificou as emissões para as regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste, São Paulo, Resto do Sudeste e Sul. O autor calculou as emissões de CO₂ através de um modelo de insumo-produto em unidades híbridas, para 18 setores no ano de 1999, e identificou os setores-chave. Os

² A pegada ecológica diz respeito à degradação ambiental quando o montante de poluição é maior que a capacidade de assimilação da mesma

³ Pelo princípio do benefício ambos consumo e produção são responsáveis pelas emissões

resultados apontaram que os setores-chave nas emissões pelo consumo energético de derivados de petróleo para o Brasil foram Comércio e Serviços, Transportes Rodoviários, Outros Transportes e Administração Pública. Ademais, o autor apontou que a aplicação de políticas para mitigação das emissões teria maior impacto nas regiões Nordeste e Sul.

Perobelli *et al.* (2010) investigaram a evolução das interações entre as 27 unidades da federação para dados do ano de 1996 e 2002. Para o estudo, os autores aplicaram o método de extração hipotética no modelo de insumo-produto. Em relação aos resultados, o Estado de São Paulo destacou-se, tanto nas ligações para frente, quanto para trás, principalmente quanto aos setores automotivo, químico e de bens de capital. Em específico sobre o setor industrial, apontaram que o fluxo São Paulo - Brasil mostrou-se mais expressivo que o inverso. Ademais, os autores destacaram que para o setor da agricultura a maioria dos estados apresentou, no período analisado, redução da interdependência em relação ao restante do país.

Haddad *et al.* (2005) também utilizaram o modelo insumo-produto inter-regional e analisaram a interdependência entre os setores da região de Minas Gerais e o restante do Brasil pelo método de extração hipotética. Utilizando um modelo com 40 setores no ano de 1996, incorporaram na análise o restante do mundo, de forma a verificar as exportações e as relações de dependência mineira com setor internacional. Observou-se que a maioria dos setores mineiros apresentaram dependência dos insumos do restante do Brasil, à exceção de Leite e laticínios. Referente às exportações os autores apontaram que o setor siderúrgico mineiro é relevante, tanto em termos da demanda, quanto da oferta.

No que diz respeito às análises inter-regionais considerando as emissões, Carvalho e Perobelli (2009) trouxeram maior enfoque à região de São Paulo. Os autores utilizaram um modelo híbrido de insumo-produto para investigar a intensidade das emissões de CO₂ setorial e na pauta de exportação para as regiões estado de São Paulo e restante do Brasil. Segundo a análise, os setores-chave para ambas as regiões foram Agropecuária, Siderurgia, Alimentos e Bebidas, Outros Setores e Transporte. Também, foi apresentado que a pauta de exportação brasileira é composta, em geral, por bens intensivos em poluição no seu processo produtivo.

Santiago *et al.* (2010) quantificaram a intensidade de carbono pelo uso de combustíveis energéticos, principalmente os fósseis, para o estado de Minas Gerais. Utilizaram um modelo insumo-produto regional de unidades monetárias e unidades híbridas, com informações de 13 setores para o ano de 2005. Dentre os resultados encontrados, os setores-chave, no que diz respeito às emissões de CO₂, foram Agropecuária, Mineração e pelletização e Transportes.

Montoya *et al.* (2013) utilizaram um modelo de insumo-produto em unidades híbridas para o ano de 2003, com o intuito de identificar as necessidades de energia e o impacto do uso

energético nas emissões de CO₂ para estado do Rio Grande do Sul. Os resultados apontaram que os setores Transporte e Energéticos foram os mais intensivos, totalizando juntos em torno de 56,5% das emissões do estado. Também, entre os resultados encontrados, as análises das emissões diretas *versus* indiretas indicaram, em termos relativos, que todos os setores do estado exercem significativa emissão de CO₂, o que implica em políticas de controle das emissões generalizadas por toda a economia gaúcha.

Assim, o presente trabalho busca contribuir através da aplicação do método de extração hipotética ao modelo de insumo-produto multirregional para 14 setores do estado de São Paulo e restante do Brasil, com a finalidade de verificar a interdependência produtiva dos setores de São Paulo. Ainda, devido à importância do tema ambiental, procura analisar as intensidades de emissão setoriais, a fim de identificar a existência de setores intensivos em poluição de forma direta e indiretamente.

3 METODOLOGIA

A abordagem do método de extração hipotética aplicado ao modelo de insumo-produto inter-regional nesta seção baseia-se nos trabalhos de Dietzenbacher *et al.* (1993) e Haddad *et al.* (2005).

Considere-se um modelo de insumo-produto inter-regional para N regiões e n setores, sendo as regiões indicadas por $I, J = 1, \dots, N$ e os setores $i, j = 1, \dots, n$. O modelo é dado pela seguinte equação⁴:

$$X = (I - A)^{-1}F = BF \quad (1)$$

Em que: X é o vetor coluna do valor bruto da produção com nN elementos, I é a matriz identidade $Nn \times nN$ elementos, A é a matriz $Nn \times nN$ de coeficientes técnicos e F é o vetor coluna da demanda final com nN elementos. Além disso, $B = (I - A)^{-1}$, a inversa de Leontief, representa os requerimentos totais de produção por unidade monetária de demanda final.

No modelo, o produto é particionado pelas regiões, $X = (X^1, \dots, X^I, \dots, X^N)'$ ⁵ e pelos setores, $X^{I'} = (X_1^I, \dots, X_i^I, \dots, X_n^I)'$, de modo que a matriz de coeficientes técnicos inter-regional é definida como:

$$A = \begin{bmatrix} A^{11} & \dots & A^{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A^{N1} & \dots & A^{NN} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Na qual o elemento a_{ij}^{IJ} representa o requerimento do setor j na região J pelos insumos do setor i na região I , determinando, assim, as submatrizes de coeficientes técnicos de cada região.

Ainda, ressalta-se que a demanda final, vetor F , também é particionado pelas regiões e setores.

O método de extração hipotética considera os efeitos sobre o produto da economia devido retirada de uma região ou setor. Nesse sentido, supõe-se a extração da primeira região, o que resulta em um modelo com $N-1$ regiões. Determinando R para representar o restante da economia, o valor bruto de produção dessa será dado por $X = (X^{1'}, X^{R'})'$, em que X^R é um vetor coluna com $n(N-1)$ elementos e $X^R = (X^{2'}, X^{3'}, \dots, X^{I'}, \dots, X^{N'})'$. Assim, a matriz de coeficientes técnicos e a inversa de Leontief particionadas considerando a extração serão:

⁴ Verificar Guilhoto (2011) sobre modelo insumo-produto.

⁵ X' representa o vetor linha pela transposição do vetor coluna.

$$A = \begin{bmatrix} A^{11} & A^{1R} \\ A^{R1} & A^{RR} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$B = (I - A)^{-1} = \begin{bmatrix} B^{11} & B^{1R} \\ B^{R1} & B^{RR} \end{bmatrix} \quad (4)$$

A partir da equação (4) tem-se que:

$$X^1 = B^{11}F^1 + B^{1R}F^R \quad (5)$$

$$X^R = B^{R1}F^1 + B^{RR}F^R \quad (6)$$

Uma vez que o modelo considera a extração hipotética da região 1, através das expressões (5) e (6), o mesmo é reduzido à:

$$\bar{X}^R = A^{RR}\bar{X}^R + F^R \quad (7)$$

$$\bar{X}^R = (I - A^{RR})^{-1}F^R \quad (81)$$

Assim, \bar{X}^R representa o produto da economia perante a retirada da região 1, de maneira que a diferença entre X^R e \bar{X}^R expressa o efeito da extração da região 1 sobre o valor bruto da produção das demais regiões. A fim de interpretar os elementos de $X^R - \bar{X}^R$, pode-se calcular a matriz B como a inversa de uma matriz particionada da seguinte maneira:

$$B^{1R} = B^{11}A^{1R}(I - A^{RR})^{-1} \quad (9)$$

$$B^{R1} = (I - A^{RR})^{-1}A^{R1}B^{11} \quad (10)$$

$$B^{RR} = (I - A^{RR})^{-1} + (I - A^{RR})^{-1}A^{R1}B^{11}A^{1R}(I - A^{RR})^{-1} \quad (11)$$

Ao que se tem:

$$\begin{aligned} X^R - \bar{X}^R &= B^{R1}F^1 + [B^{RR} - (I - A^{RR})^{-1}]F^R \\ &= (I - A^{RR})^{-1}A^{R1}B^{11}[F^1 + A^{1R}(I - A^{RR})^{-1}F^R] \end{aligned} \quad (12)$$

A primeira parte da equação (12), $B^{R1}F^1$, descreve a necessidade pela produção no restante da economia para atender a demanda final na região 1, F^1 . Quanto à segunda parte, $[B^{RR} - (I - A^{RR})^{-1}]F^R$, representa a produção das demais regiões que satisfaz a demanda final do restante da economia.

Com a extração, o valor bruto da produção das demais decresce, pois essas não contribuem mais para atender à demanda final da região extraída. Além disso, o efeito indireto contribui para a diminuição do produto, ao passo que a região 1 não atende à demanda final do

restante das regiões, F^R . Isso significa que $X^R - \bar{X}^R$ demonstra a interdependência entre a região 1 e o restante da economia. Nesse sentido, os elementos de A^{R1} descrevem, para cada processo produtivo na região 1, o requerimento direto de insumo das outras regiões em unidades monetárias. De maneira similar, A^{1R} exibe a dependência para trás do resto da economia pelos insumos da região 1.

Entretanto, Dietzenbacher *et al.* (1993) apontaram que a base dessas dependências são os fluxos para trás, isto é, as relações de compra, e portanto, a abordagem é feita sob a ótica dos insumos. Os autores afirmaram que A^{1R} não poderia ser tomada como dependência para frente da região 1.

Nesse sentido, a fim de melhor compreender $X^R - \bar{X}^R$ analisa-se a equação quanto aos efeitos de transbordamentos para frente e para trás⁶.

No modelo, para que a demanda final F^1 seja satisfeita, a produção da região 1 deve ser $B^{11}F^1$. No entanto, como essa não produz todos os insumos necessários para atendimento, tem de adquirir insumos diretamente de outras regiões. Dessa forma, a quantidade de insumos adquirida será $A^{R1}B^{11}F^1$, e quantidade a ser produzida pelas demais regiões será $(I - A^{RR})^{-1}A^{R1}B^{11}F^1$. Isto é, os transbordamentos inter-regionais para a região 1 serão obtidos pela análise entre o produto da região 1 dentro do modelo entre regiões e o produto da região 1 dentro do modelo de apenas uma região. Ou seja:

$$X^1 - \bar{X}^1 = B^{11}F^1B^{1R}F^R - (I - A^{11})^{-1}F^1 \quad (13)$$

Ao que, a partir das equações (9), (10), (11) e (12), tem-se a expressão:

$$X^1 - \bar{X}^1 = (I - A^{11})^{-1}A^{1R}B^{RR}[F^R + A^{R1}(I - A^{11})^{-1}F^1] \quad (14)$$

No contexto do método de extração hipotética, a expressão indica os efeitos da extração de todas as demais regiões, R , da economia e, com isso, o impacto no valor bruto da produção da região 1 remanescente.

⁶ Desenvolvido por Miller e Blair (2009)

3.1 EFEITOS PARA FRENTE

Segundo Dietzenbacher *et al.* (1993), a dependência para frente de um determinado setor indica o quanto o restante da economia demanda da produção desse setor como insumo. Em consequência, a abordagem da dependência para frente deve considerar o setor como ofertante de insumos para diferentes processos produtivos e, portanto, sob a ótica dos fluxos de venda.

Desse modo, similarmente à equação **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, o modelo insumo-produto inter-regional pode ser representado por:

$$X' = V'(I - K)^{-1} = V'G \quad (15)$$

Em que: K é a matriz de valor bruto da produção $nN \times nN$, V' é o vetor linha do valor adicionado, e G é a matriz de Ghosh, que apresenta os requerimentos diretos e indiretos dos demais setores pelo produto do setor i .

Supondo a extração da região 1, teria-se:

$$\begin{aligned} (X - \bar{X})' &= [(X^1 - \bar{X}^1)', (X^R - \bar{X}^R)'] \\ &= (V^{1'}, V^{R'}) \left\{ \begin{bmatrix} G^{11} & G^{1R} \\ G^{R1} & G^{RR} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} (I - B^{11})^{-1} & 0 \\ 0 & (I - B^{RR})^{-1} \end{bmatrix} \right\} \quad (16) \end{aligned}$$

Pelas expressões $X^R - \bar{X}^R$ e $X^1 - \bar{X}^1$ é possível verificar, respectivamente, os efeitos da região 1 sobre o restante da economia e os efeitos das demais regiões sobre a região 1.

3.2. COEFICIENTE DE INTENSIDADE DE EMISSÃO

Para verificar a poluição nos fluxos comerciais, utiliza-se a metodologia dos coeficientes de intensidade de emissões, tomando como base Wiebe *et al.* (2012)⁷. Segundo os autores, os coeficientes de intensidade de emissão permitem aprofundar a análise da emissão setorial, visto que identificam se o setor é intensivo ou não em seu processo produtivo, por meio da ponderação da poluição pela produção interna. Isso porque o cálculo do coeficiente se dá pela

⁷ Trabalhos que utilizaram o método: De Souza *et al.* (2016), Peters e Hertwich (2004), Peters e Hertwich (2006), Vale (2014), dentre outros.

razão entre as emissões e o valor bruto da produção (VBP) do setor, de forma que exhibe a quantidade de carbono incorporada em uma unidade monetária do produto. Em formulação matemática:

$$CI_i^N = \frac{Emissões_i^N}{VBP_i^N}$$

Assim, serão calculados neste trabalho os coeficientes de intensidade de emissão para os setores de São Paulo e restante do Brasil, totalizando 28 setores.

3.3. TRATAMENTO DOS DADOS

O presente trabalho utilizou para a análise a matriz inter-regional de insumo-produto São Paulo e restante do Brasil para o ano de 2011, estimada por Haddad et al. (2017). Também, foram utilizados os dados do Balanço Energético de São Paulo de 2011 (BESP, 2021) e do Balanço Energético Nacional para o ano de 2011 (BEN, 2021). Uma vez que as bases de dados possuem quantidades incompatíveis de setores, foi realizada uma agregação, apresentada no Apêndice A, que resultou em um modelo final com duas regiões e 28 setores.

Em seguida, foi aplicada a conversão dos coeficientes de energia para o cálculo das intensidades de emissões. Para isso, utilizou-se os dados dos coeficientes de conversão de Economia e Energia (2000) divulgados em parceria com o Ministério da Ciência e Tecnologia, presentes no Anexo A. Entretanto, pela indisponibilidade de coeficientes para algumas fontes de energia presentes nos balanços energéticos, além de o BEN apresentar 25 fontes energéticas e o BESP 27 fontes, foi necessário a compatibilização entre as bases.

Assim, foram consideradas, para o cálculo dos coeficientes de intensidade de emissão, as fontes energéticas secundárias, sendo: óleo diesel, óleo combustível, gasolina, GLP, querosene, gás cidade e de coqueria, coque de carvão mineral, carvão vegetal, álcool etílico anidro e hidratado e outras energias secundárias do petróleo.

4 RESULTADOS

Assim, a partir da metodologia e dados definidos na seção anterior, neste capítulo são apresentados os principais resultados obtidos no trabalho. Inicialmente, discorre-se sobre os coeficientes de intensidade de emissões calculados. Em seguida, discute-se a interdependência produtiva dos setores de São Paulo na economia, em termos monetários, apresentando os efeitos para trás pela extração hipotética desses setores, e por fim, os efeitos para frente tanto na região de São Paulo quanto no restante do Brasil.

4.1. ANÁLISE DOS COEFICIENTES DE INTENSIDADE DE EMISSÃO

Segundo Wiebe *et al.* (2012) os coeficientes de intensidade de emissão permitem aprofundar a análise da poluição nos setores, visto que as emissões são ponderadas pelo valor bruto produzido na economia. Assim, na Figura 1 são expostos os coeficientes de intensidade de emissões para os 14 setores de São Paulo e do restante do Brasil. Na análise, são considerados como setores intensivos aqueles que apresentam quantidades de emissões por unidade monetária maior ou igual à média da região. No entanto, ressalta-se que o setor Transporte Terrestre não foi incluso para o cálculo da média, uma vez que o significativo montante de poluição produzido pelo setor, causa tendência da média para valores mais elevados. A partir dessa consideração, foi possível incluir o setor Agropecuária nas análises de poluição para o estado de São Paulo.

Dessa forma, a média para a região de São Paulo e restante do Brasil são, respectivamente, 51,8 toneladas de CO₂eq⁸ por mil R\$ gerados na produção, e 88,5 ton CO₂eq/mil R\$.

⁸ CO₂eq - expressa a quantidade de gases de efeito estufa em termos equivalentes de quantidade de dióxido de carbono

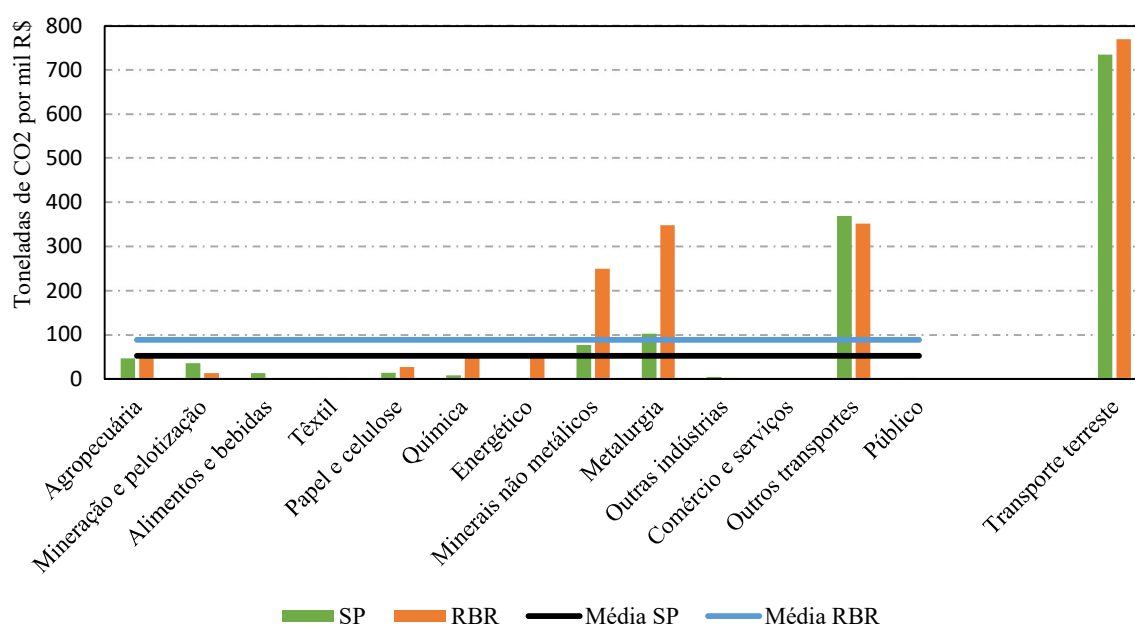


Figura 1 - Coeficientes de intensidade de emissões de CO₂eq

Fonte: elaboração própria a partir de dados da pesquisa.

Conforme a Figura 1, destacam-se as intensidades de emissões referente aos setores de transporte. Em relação à região de São Paulo, Transporte Terrestre apresentou um montante de emissão de 735 toneladas de CO₂eq/mil R\$ e Outros Transportes de 370 ton CO₂eq/mil R\$. Em relação a esses setores, Betarelli Junior *et al.* (2011) expuseram serem relevantes na economia, visto que os fluxos de compra e venda de produtos intermediários ou finais necessitam de algum meio de transporte nas transferências físicas dos bens. Nesse sentido, Carvalho e Perobelli (2009) também apontaram que, para São Paulo, o setor de transporte possui os maiores impactos distributivos, de forma que havendo alterações em sua demanda, um maior número de setores da economia é afetado.

Também, é possível identificar Metalurgia e Minerais Não Metálicos como intensivos em poluição. Ainda, para o caso de São Paulo, considera-se a Agropecuária. Entretanto, ressalta-se que neste estudo não são considerados os impactos ambientais relacionados ao uso da terra, de maneira que a mensuração é feita apenas com base no consumo energético dos combustíveis mencionados.

4.2. INTERDEPENDENCIA SETORIAL

Conforme Bastianoni *et al.* (2004), é importante analisar não apenas o consumo energético e as emissões setoriais, mas também quais os setores envolvidos na poluição, uma vez que mesmo não sendo poluidores, podem ser demandantes relevantes de setores intensivos. Nesse sentido, a análise das interações setoriais pode ser realizada através de identificar a estrutura de dependência entre os fluxos comerciais, a partir da classificação dos setores quanto à intensidade em emissões. Diante disso, o método de extração hipotética contribui de modo a verificar o impacto sobre o valor bruto da produção da economia perante a extração de determinado setor.

Dessa forma, a Tabela 1 exhibe os impactos sobre a produção das regiões pela extração de cada um dos 14 setores de São Paulo. Pode-se observar os efeitos totais para trás, referente à retirada dos fluxos de compra dos setores, e os efeitos totais para frente, relacionados aos fluxos de venda. Inicialmente, é possível identificar uma maior dependência intrarregional (dentro do estado de São Paulo), quando comparada às relações no que diz respeito ao restante do Brasil.

Ainda, pela Tabela 1 verifica-se que os efeitos para trás de maior relevância sobre o valor bruto da produção do estado de São Paulo são causados pela extração da demanda dos setores Comércio e Serviços (14,22%), Outras Indústrias (8,92%), Química (3,66%), Alimentos e Bebidas (3,66%) e o setor Energético (2,35%). Ressalta-se que esses setores também são os de maior dependência pelos insumos do restante do Brasil. Além disso, destaca-se referente aos efeitos para frente do estado de São Paulo os setores Comércio e Serviços (20,18%), Outras Indústrias (4,17%), Energético (3,30%), Química (2,94%) e Transporte Terrestre (2,32%).

Tabela 1 - Impactos sobre o valor bruto da produção pela extração hipotética dos setores do estado de São Paulo

Setores extraídos	Efeitos para trás		Efeitos para frente	
	São Paulo	Restante do Brasil	São Paulo	Restante do Brasil
Agropecuária	0,65%	0,30%	0,84%	0,52%
Minação e Pelotização	0,14%	0,05%	0,24%	0,20%
Alimentos e Bebidas	3,66%	1,74%	1,05%	0,77%
Têxtil	0,83%	0,33%	0,35%	0,21%
Papel e Celulose	0,70%	0,28%	0,70%	0,45%
Química	3,66%	1,30%	2,94%	2,29%

Energético	2,35%	2,00%	3,30%	1,84%
Minerais Não Metálicos	0,51%	0,19%	0,57%	0,37%
Metalurgia	1,36%	0,74%	1,52%	1,03%
Outras Indústrias	8,92%	3,37%	4,17%	2,03%
Comércio e Serviços	14,22%	2,68%	20,18%	4,95%
Transporte Terrestre	1,20%	0,46%	2,32%	0,41%
Outros Transportes	0,47%	0,15%	0,45%	0,21%
Público	2,30%	0,45%	0,83%	0,16%

Fonte: elaboração própria a partir dos dados da pesquisa.

Diante disso, analisa-se as interações dos setores que apresentaram maiores encadeamentos na economia, buscando entender os principais efeitos setoriais, bem como a responsabilidade de emissão, tendo em vista a dependência por setores intensivos em poluição. Nesse sentido, primeiramente, verifica-se os efeitos para trás, por meio dos quais identifica-se o grau de dependência do setor extraído pelos demais. Isto é, os fluxos do setor extraído em termos de aquisição de insumos.

A Figura 2 apresenta os principais efeitos sobre a produção setorial pela extração da demanda do setor Comércio e Serviços. É possível destacar a característica intrarregional dos encadeamentos, visto que os setores com maior decréscimo em seu valor bruto de produção, dizem respeito ao estado de São Paulo. Além disso, verifica-se dependência significativa pelos setores Outros Transportes, com redução da produção setorial em 29,28%, Comércio e Serviços, em 22,88%, e Transporte Terrestre, em 21,65%. Ainda, salienta-se que o setor Comércio e Serviços trata-se do setor mais exportador de São Paulo, com participação de 29,20% nas exportações para os dados de 2011. Em vista disso, ao analisar as emissões, o setor de Comércio e Serviços apresentam o menor coeficiente de intensidade⁹, não se caracterizando como intensivo em poluição. Entretanto, ao verificar pelo princípio do consumo, é participante indireto da geração de carbono, uma vez que apresenta demanda relevante pelos insumos dos setores mais intensivos da economia (Transporte Terrestre e Outros Transportes). Assim, alterações na demanda desse setor, irão gerar emissões da produção referente à Transporte Terrestre e Outros Transportes. Além de que, as exportações do estado de São Paulo tornam-se intensivas indiretamente, devido ser importante setor exportador.

⁹ Conforme Figura 1

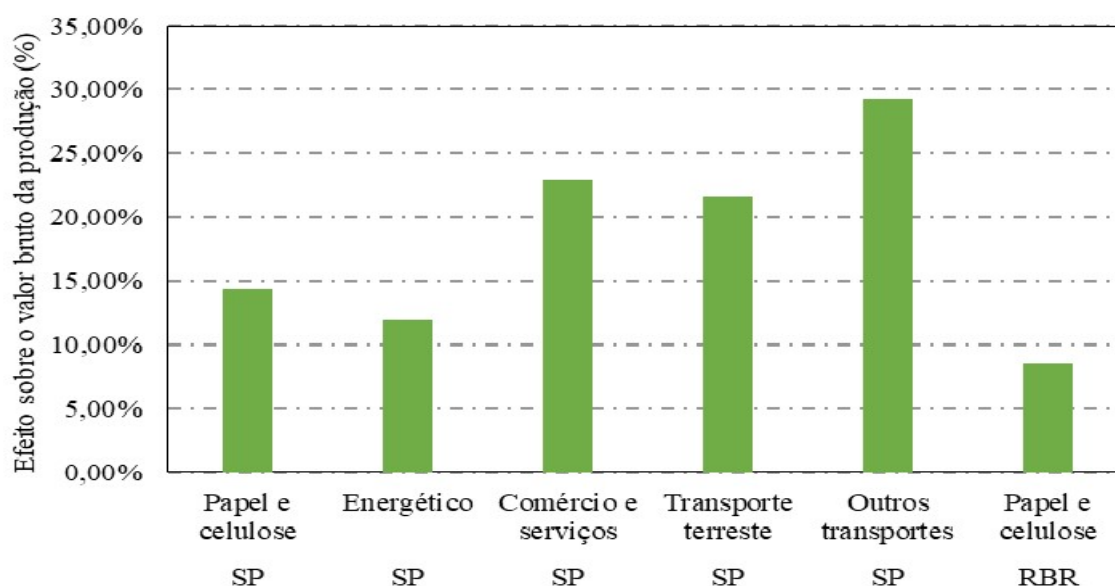


Figura 2 - Efeitos setoriais para trás a partir da extração do setor Comércio e Serviços
 Fonte: elaboração própria a partir de dados da pesquisa.

A Figura 3 mostra os principais impactos setoriais pela extração hipotética da demanda do setor Outras Indústrias do estado de São Paulo. É possível identificar a dependência, tanto intrarregional, quanto pelos insumos do restante do Brasil. Nesse sentido, os efeitos mais significativos referente à São Paulo ocorrem nos setores Minerais Não Metálicos (34,98%), Metalurgia (29,44%), Mineração e Pelotização (15,25%) e Transporte Terrestre (14,66%). Ainda, é possível observar a dependência pelos insumos de Metalurgia (21,61%) e Minerais Não Metálicos (17,82%) do restante do Brasil. A partir desses resultados e, de forma similar à análise anterior, tem-se que o setor Outras Indústrias não se caracteriza com o intensivo em poluição. No entanto, os fluxos de compra com maior relevância do setor estão vinculados à setores de impacto ambiental significativo, tanto no que diz respeito à São Paulo, quanto o restante do Brasil. Vale registrar ainda o papel exportador de Outras Indústrias, com participação de 25,63% nas exportações de São Paulo, o que reforça as exportações do estado serem intensivas indiretamente.

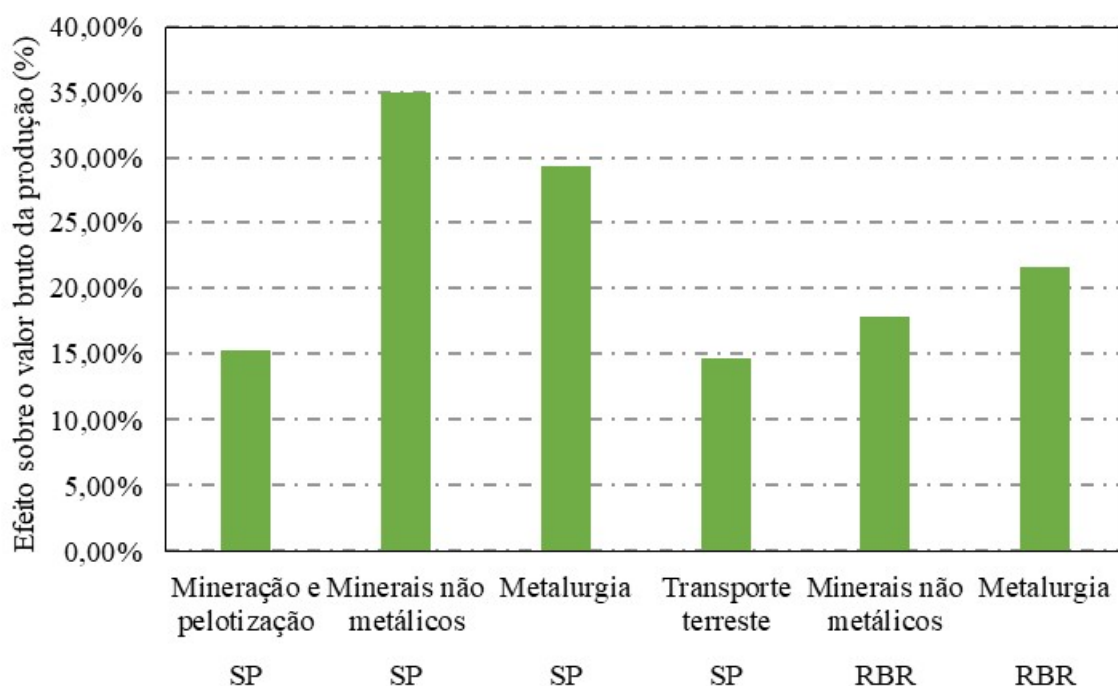


Figura 3 - Efeitos setoriais para trás a partir da extração do setor Outras Indústrias
 Fonte: elaboração própria a partir de dados da pesquisa.

A partir da Figura 4 mostra-se os efeitos para trás sobre a produção dos demais setores do estado de São Paulo e restante do Brasil devido à extração hipotética do setor Química de São Paulo. Os resultados apresentam a dependência relevante intra-setorial. Isto é, ao retirar-se os fluxos de compra do setor Química, o maior efeito sobre a produção ocorre no setor Química de São Paulo, com redução do VBP em 14,74%. Além disso, em relação aos demais setores, é possível verificar significativo grau de encadeamento com o setor Química das demais regiões do Brasil (13,95%), e Transporte Terrestre de São Paulo, com um impacto de 9,14% sobre a produção desse. Em relação às emissões, tem-se o setor químico de São Paulo como um dos menores coeficientes de intensidade de emissão. Entretanto, sob a ótica do consumo, apresenta dependência pelo setor mais intensivo da economia, Transporte Terrestre.

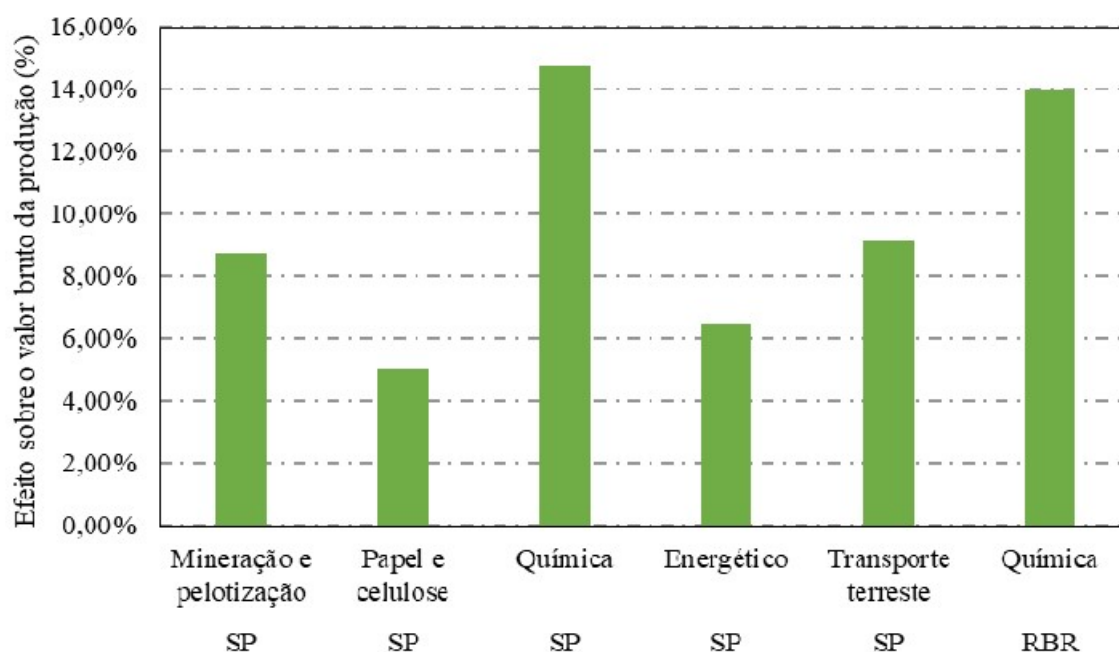


Figura 4 - Efeitos setoriais para trás a partir da extração do setor Química
 Fonte: elaboração própria a partir de dados da pesquisa.

Em relação à Figura 5, é apresentado os efeitos para trás setoriais de maior destaque pela extração do setor Alimentos e bebidas. A partir dos resultados, ressalta-se a interdependência com o setor Agropecuária (26,65%) de São Paulo. Em seguida, tem-se os setores Agropecuária das demais regiões do Brasil (13,6%) e Transporte Terrestre (9,1%) de São Paulo. Além dos principais encadeamentos do setor Alimentos e Bebidas, é possível destacar que este caracteriza-se por uma das maiores participações nas exportações de São Paulo, cerca de 17,8%. Diante desses resultados, Alimentos e Bebidas não se caracteriza como setor intensivo em emissões, mas possui significativa dependência pelos setores Agropecuária e Transporte Terrestre, o que torna o setor demandante indireto de poluição. Nesse sentido, os resultados corroboram com o trabalho de Betarelli Junior *et al.* (2011), ao verificarem a relação entre os modais de transporte com as exportações brasileiras. Os autores identificaram que as atividades referentes à esse setor possuem peso significativo na demanda do modal rodoviário para as exportações da União Europeia. Carvalho e Perobelli (2009) ao avaliar as exportações de São Paulo, identificaram Alimentos e bebidas como um dos setores que mais incorporam unidades de carbono em suas exportações, contribuindo para caracterizar essas como intensivas em poluição.

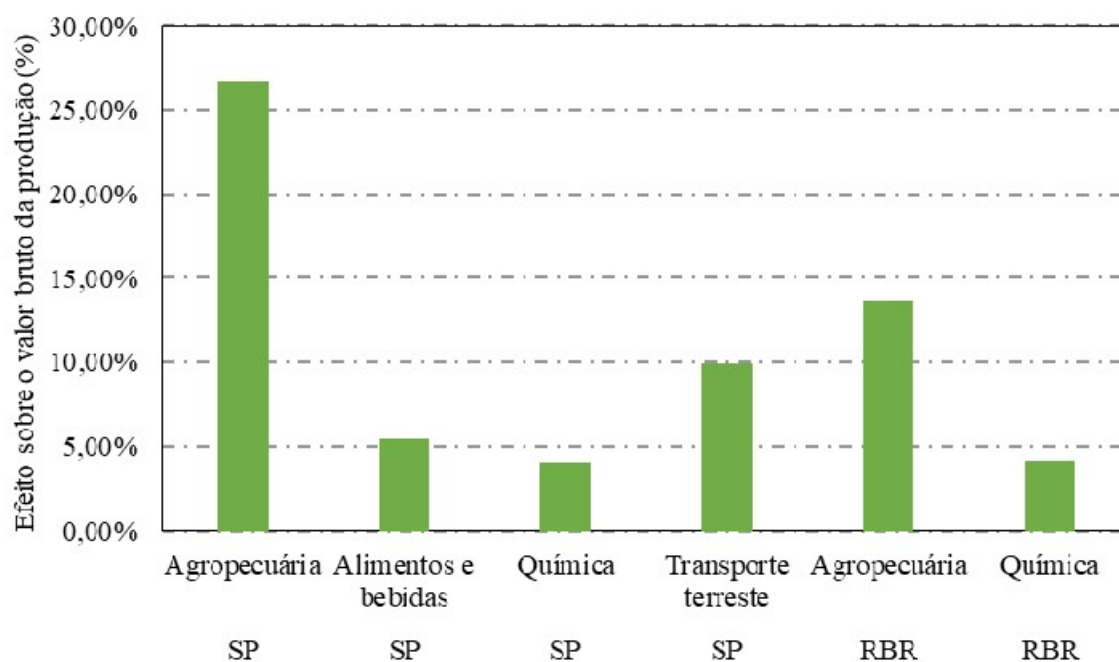


Figura 5 - Efeitos setoriais para trás a partir da extração do setor Alimentos e Bebidas
 Fonte: elaboração própria a partir de dados da pesquisa.

A Figura 6 traz os principais efeitos setoriais diante da extração da demanda do setor Energético de São Paulo. Observa-se dependência relevante dos setores Mineração e Pelotização de São Paulo (17,26%) e do restante do Brasil (16,42%), bem como Energético do estado de São Paulo (16,62%). Em menor magnitude, ainda é possível identificar, dentre os principais encadeamentos dos fluxos de compra do setor Energético, os setores de Agropecuária (3,77%) e Transporte Terrestre (3,74%) de São Paulo. Em relação ao setor energético, nos resultados não é considerado setor intensivo em poluição. Entretanto, sob a ótica do consumo, apresenta dependência pelos insumos dos setores Agropecuária e Transporte Terrestre, de elevado impacto ambiental.

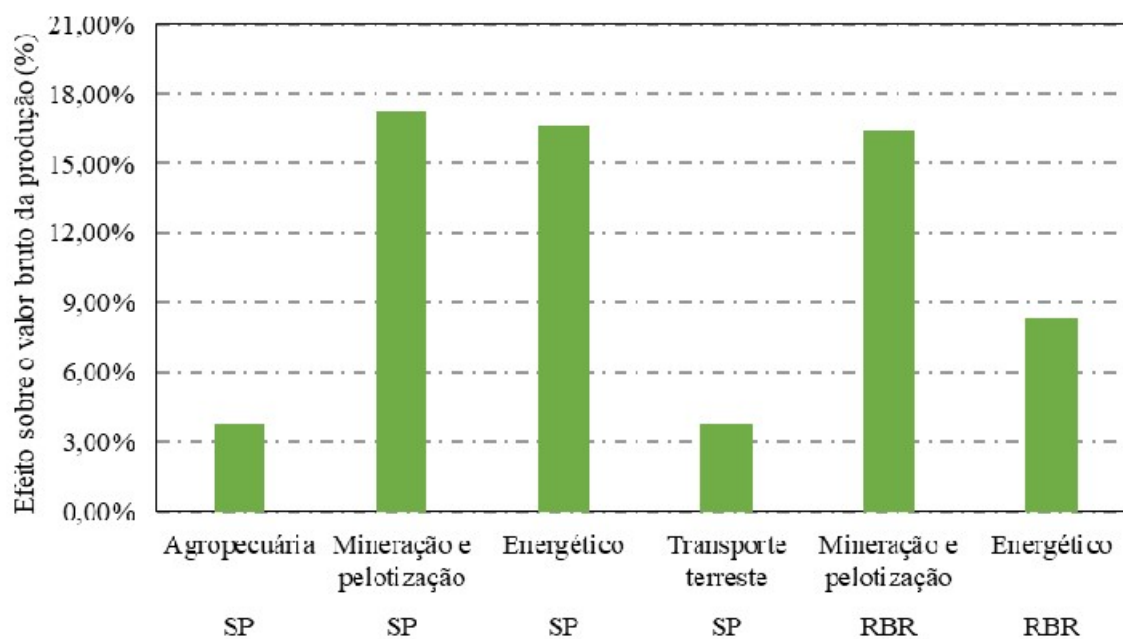


Figura 6 - Efeitos setoriais para trás a partir da extração do setor Energético

Fonte: elaboração própria a partir de dados da pesquisa.

Vale registrar que Carvalho e Perobelli (2009) em suas análises apontaram que os setores Químico, Alimentos e bebidas e Energético são setores-chave no que concerne às emissões. Isto é, diante de um aumento na demanda final desses setores, os demais são pressionados a aumentar sua produção e, por conseguinte, as emissões.

4.3. INTERDEPENDÊNCIA PARA FRENTE

Em relação à interdependência para frente, ela evidencia os fluxos relevantes para o setor extraído quanto ao destino de seus produtos. Assim, ao verificar o mercado consumidor de tais setores, que é possível identificar o grau de dependência por seus bens e serviços produzidos.

Nesse sentido, como o objetivo do trabalho é a análise da interdependência setorial sob a ótica da responsabilidade de emissão, optou-se por verificar a dependência dos demais setores, pelos setores do estado de São Paulo que apresentam coeficientes de intensidade acima da média, sendo eles: Transporte terrestre, Outros Transportes, Metalurgia, Minerais não metálicos e Agropecuária. Este procedimento se justifica pelo fato de que os setores que possuem maior

impacto no VBP, em relação aos efeitos para frente (São Paulo, restante do Brasil), não são os de maiores intensidades em emissões¹⁰.

A partir da Figura 7, apresenta-se os principais efeitos para frente da extração hipotética dos fluxos de venda do setor Transporte Terrestre¹¹ de São Paulo. Ressalta-se a predominância dos encadeamentos intrarregionais. Além disso, é possível identificar a dependência intra-setorial, visto que o maior impacto da extração causa decréscimo de 7,51% no valor bruto de produção do próprio setor de Transporte Terrestre. Especificamente, em relação aos demais setores, têm-se dentre os principais impactados os setores Alimentos e bebidas (4,94%), Química (4,05%) e Minerais Não Metálicos (3,76%). Ainda, verifica-se que os setores Mineração e Pelotização (3,48%) e Papel e Celulose (3,75%), não sendo intensivos, possuem dependência da oferta do setor Transporte terrestre. No caso do setor Minerais Não Metálicos, aponta-se que, além de apresentar a emissão de 76,8 toneladas de CO₂eq por mil R\$ de VBP, ainda é dependente de fluxos de venda com impacto ambiental relevante.

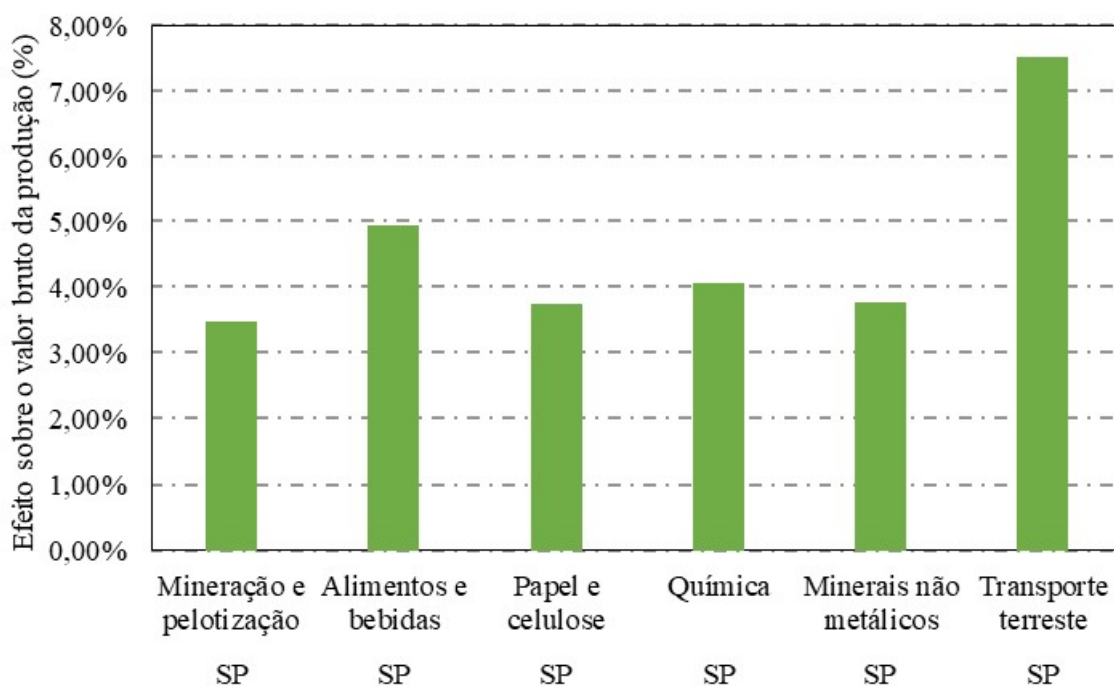


Figura 7 - Efeitos setoriais para frente da extração do setor Transporte Terrestre

Fonte: elaboração própria a partir de dados da pesquisa.

¹⁰ Conforme Figura 1 e Tabela 1 - Impactos sobre o valor bruto da produção pela extração hipotética dos setores Tabela 1

¹¹ Considera os modais rodoviário e ferroviário

No que se refere à Figura 8, os resultados obtidos indicam os principais setores impactados pela extração dos fluxos de venda do setor Outros Transportes. É importante pontuar que o setor abrange os modais hidroviário e aéreo, já estudados em trabalhos anteriores, como o de Araújo (2008) e de Bastos (2007).

Ao analisar a estrutura de dependência para frente do setor Outros Transportes pela Figura 8, destaca-se que a maior dependência do estado de São Paulo diante da extração dos fluxos de venda de Outros Transportes é de setores menos intensivos em poluição, sendo Comércio e Serviços (0,63%), Mineração e Pelotização (0,52%), Papel e Celulose (0,41%), Química (0,38%) e Outras Indústrias (0,35%). Entretanto, é possível verificar encadeamentos com menor magnitude, ainda que os efeitos sejam mais distribuídos entre os setores. Por outra perspectiva, apesar dos efeitos sobre a produção dos setores pela extração hipotética não serem de maior significância, há de se observar que os principais setores exportadores utilizam dos modais de Outros Transportes. Betarelli Junior *et al.* (2011), para dados de 2005, apontaram que o modal marítimo foi classificado como modal-chave para as exportações destinadas à China, Nafta e União Europeia. Os resultados mostraram que os setores minério de ferro e fabricação de aço exercem forte pressão sobre o modal marítimo. O que corrobora com os resultados obtidos, no que diz respeito aos setores Mineração e Pelotização e Outras Indústrias estarem dentre os principais encadeamentos para frente.

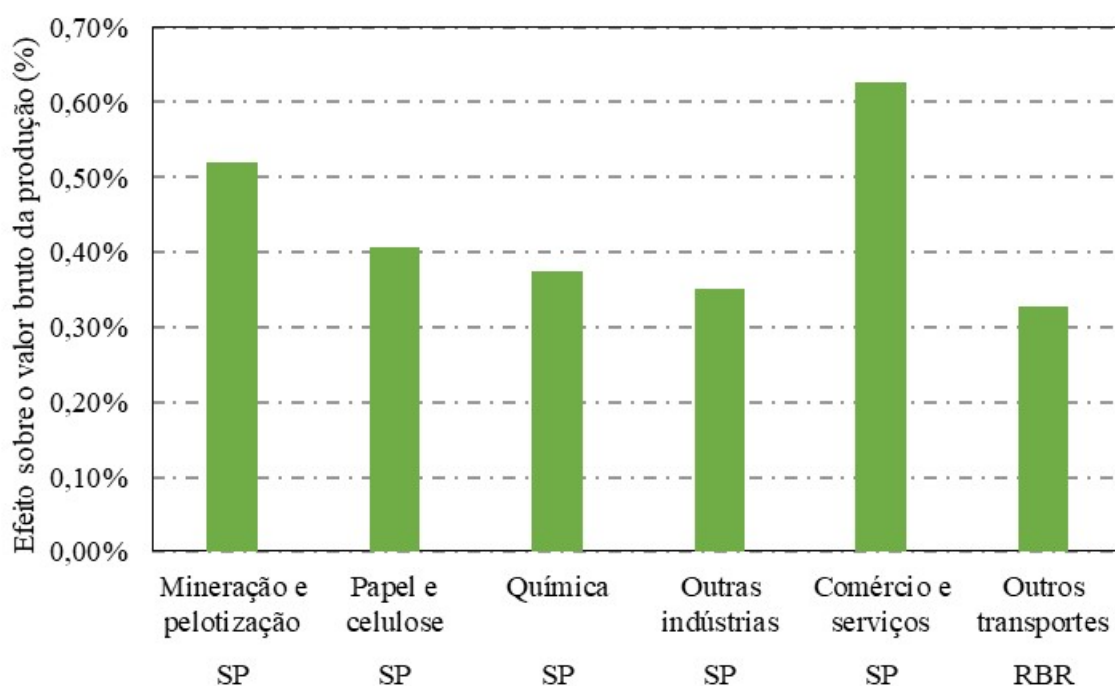


Figura 8 - Efeitos setoriais para frente da extração do setor Outros Transportes
Fonte: elaboração própria a partir de dados da pesquisa.

As Figura 9 e Figura 10 trazem os principais resultados dos efeitos setoriais para frente em relação à extração hipotética, respectivamente, dos setores Metalurgia e Minerais Não Metálicos de São Paulo. É possível observar semelhanças entre os encadeamentos de ambos os setores, referente à dependência intra-setorial e inter-regional.

Conforme é possível verificar pela Figura 9, a extração das vendas do setor Metalurgia de São Paulo causa decréscimo no valor bruto da produção do próprio setor em 9,26%, demonstrando a dependência intra-setorial. Em seguida, aponta-se os encadeamentos dos setores Metalurgia (RBR), com impacto sobre o VBP em 5,67%, Outras Indústrias (SP), em 4,91%, e Outras Indústrias (RBR) em 3,50%.

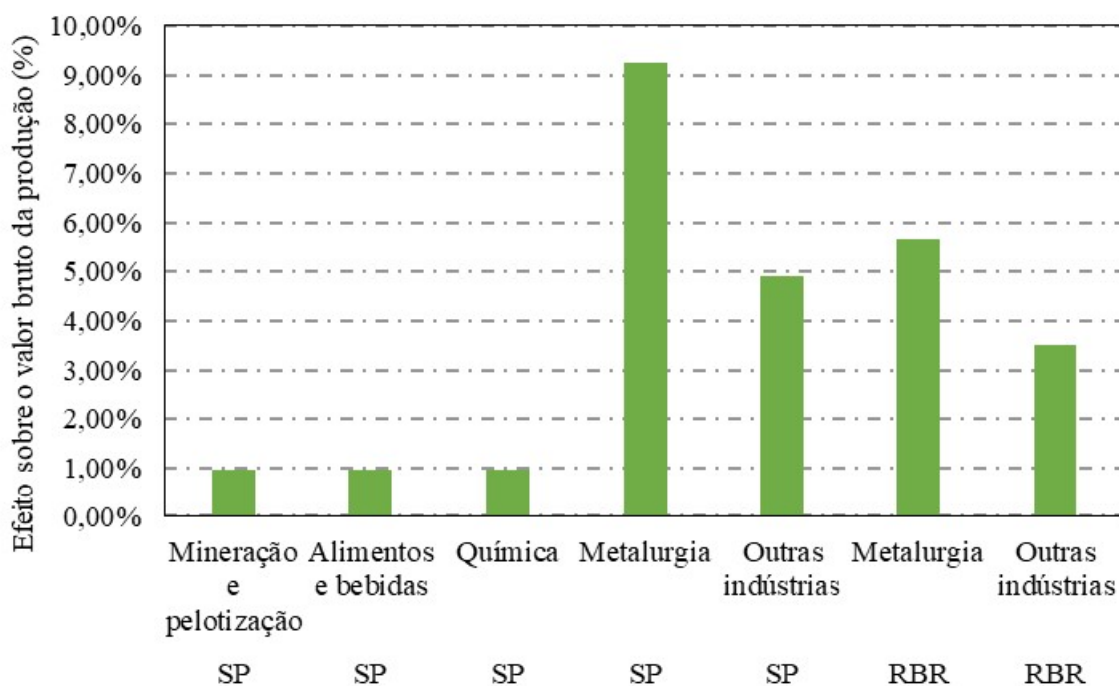


Figura 9 - Efeitos setoriais para frente da extração do setor Metalurgia

Fonte: elaboração própria a partir de dados da pesquisa.

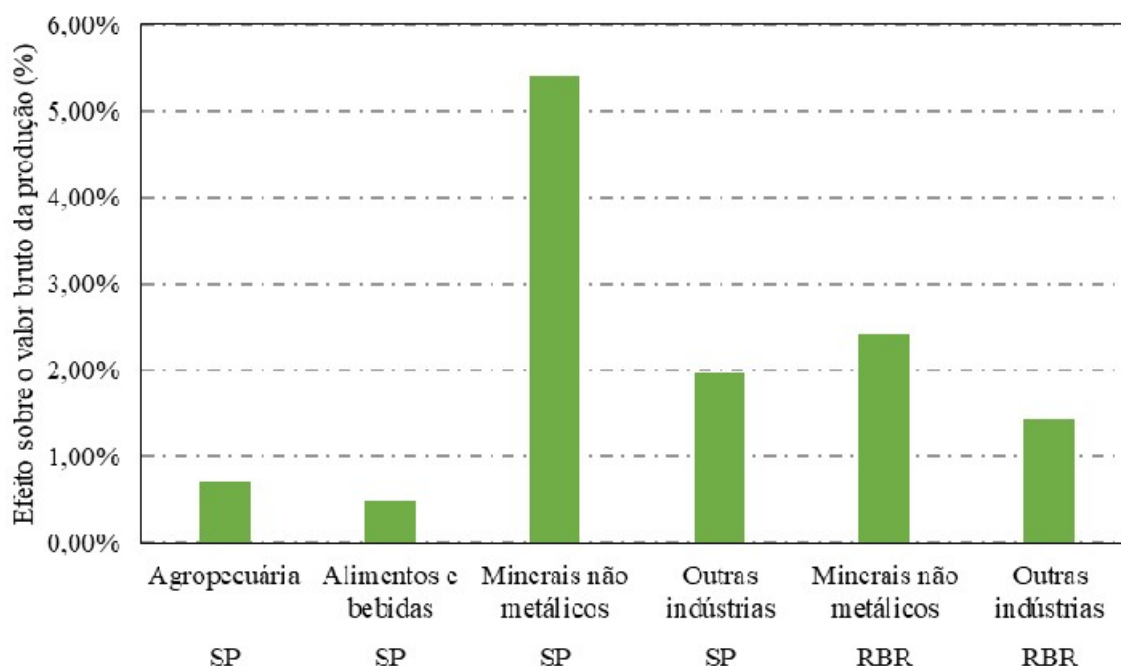


Figura 10 - Efeitos setoriais para frente da extração do setor Minerais Não Metálicos

Fonte: elaboração própria a partir de dados da pesquisa.

De forma similar, pela Figura 10, os principais efeitos para frente em relação à extração hipotética do setor Minerais Não Metálicos ocorrem no próprio setor de São Paulo, com redução do valor da produção em 5,40%, seguido de Minerais Não Metálicos (RBR), 2,40%, e Outras Indústrias, de São Paulo e restante do Brasil, respectivamente, em 1,96% e 1,43%.

A partir da estrutura de dependência apontadas nas Figura 9 e Figura 10, e tendo em vista que os setores Metalurgia e Minerais Não Metálicos são intensivos em poluição, ressalta-se que os fluxos comerciais intra-setoriais intensificam à produção pautada nas emissões. Além de que, a dependência do setor Outras Industrias por tais setores reforça a característica sob o ponto de vista do consumo, demandante indireto de poluição, conforme tratado na análise dos efeitos para trás do setor Outras Industrias. Ainda, pelos resultados obtidos, é possível verificar a dependência de setores do restante do Brasil por setores intensivos de São Paulo.

A Figura 11, apresenta os principais efeitos para frente da extração hipotética dos fluxos de venda do setor Agropecuária. Identifica-se que o principal dependente é o setor Alimentos e Bebidas da região de São Paulo, com decréscimo da produção em 9,08% diante da retirada dos fluxos de venda da Agropecuária, seguido de Alimentos e Bebidas do restante do Brasil (3,97%). Nesse sentido, reforça-se os impactos identificados referente aos efeitos para trás no que diz respeito ao setor de Alimentos e Bebidas de São Paulo, que não sendo intensivo, possui encadeamentos relevantes com o setor Agropecuária. De forma similar, os setores Têxtil, Papel

e Celulose e Energético, apesar da dependência em menor magnitude, são apontados como as principais interações com o setor Agropecuária. Nesse sentido, os resultados obtidos são corroborados pelo trabalho de Amorim *et al.* (2009) que ao estudarem a agropecuária no Brasil apontaram a relevância do setor como fornecedor para a indústria extrativa mineral e de transformação (Têxtil, Papel e Celulose).

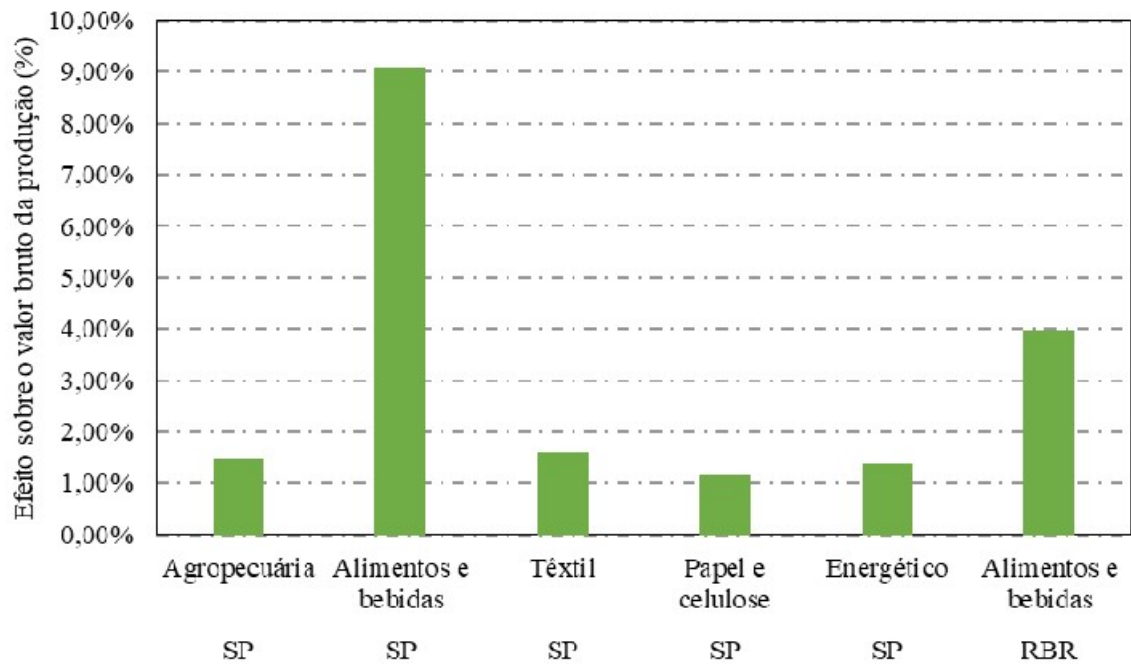


Figura 11 - Efeitos setoriais para frente da extração do setor Agropecuária
Fonte: elaboração própria a partir de dados da pesquisa.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da aplicação do método de extração hipotética na matriz de insumo-produto inter-regional para São Paulo e restante do Brasil, com 28 setores ao total, foi possível identificar a estrutura de interdependência dos setores paulistas. Ademais, foram identificados os setores mais intensivos da economia, através do cálculo dos coeficientes de intensidade de emissão, e pela interdependência verificou-se o consumo indireto de poluição.

Os principais setores encontrados como intensivos foram Transporte Terrestre, Outros Transportes, Metalurgia, Minerais Não Metálicos e, ainda, para a região de São Paulo, é possível citar o setor Agropecuária.

Dentre os resultados encontrados, os setores do estado de São Paulo que apresentaram maiores encadeamentos, do ponto de vista da demanda, foram Comércio e Serviços, Outras Indústrias, Química, Alimentos e Bebidas e setor Energético. Tais setores não são caracterizados como os mais poluentes. Entretanto, ao analisar as interações dos mesmos, identificou-se dependência significativa de setores intensivos em poluição, principalmente pelo setor Transporte Terrestre. Diante disso, tem-se que os setores com encadeamentos mais relevantes do estado dependem de processos produtivos poluentes, o que determina crescimento não sustentável de São Paulo.

Sob à ótica da oferta, optou-se pela análise da dependência da economia pelos setores mais intensivos, ainda que os mesmos não tenham apresentado maiores impactos em termos de redução do valor bruto da produção. É possível apontar, dentre os principais resultados, que seus encadeamentos de maior relevância referente aos fluxos de venda apontam setores não poluentes. Além disso, observa-se a dependência do restante do Brasil, bem como a dependência de setores importantes nas exportações pelos setores intensivos de São Paulo. Assim, as demais regiões do país e as exportações do estado podem ser caracterizadas, sob a ótica do consumo, como intensivas indiretamente em poluição.

Em termos de limitação do trabalho, pode se citar que a agregação setorial utilizada abrangeu nos setores Comércio e Serviços e Outras Indústrias elevado número de atividades. Assim, como futuras discussões sugere-se mudanças na agregação setorial, de modo que seja possível a análise mais detalhada dentre os setores. Ainda, uma possibilidade de estudo seria a menor agregação em termos regionais, para se compreender as interdependências entre as regiões brasileiras no que diz respeito à poluição.

REFERÊNCIAS

- ALI, Yousaf. **Measuring CO2 emission linkages with the hypothetical extraction method (HEM)**. *Ecological indicators*, v. 54, p. 171-183, 2015.
- AMORIM, Airton Lopes; CORONEL, Daniel Arruda; TEIXEIRA, Erly Cardoso. **A agropecuária na economia brasileira: uma análise de insumo-produto**. *Perspectiva econômica*, v. 5, n. 2, p. 1-19, 2009.
- ARAÚJO, Gabriel de Sá Meira de; OLIVEIRA, Alessandro Vinícius Marques de. **Modelagem e Mensuração do Nível de Emissões por Etapa de Vôo**. 2008.
- BASTIANONI, Simone; PULSELLI, Federico Maria; TIEZZI, Enzo. **The problem of assigning responsibility for greenhouse gas emissions**. *Ecological economics*, v. 49, n. 3, p. 253-257, 2004.
- BASTOS, Alexandre; DIAS, Daniel Pisani; BAUM, Derick. **Ruídos e emissões no transporte aéreo**. *Journal of Transport Literature*, v. 1, n. 1, 2010.
- BEN. Balanço Energético Nacional. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>> Acesso em: 26 de outubro de 2021
- BESP. Balanço Energético do Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/portalecv2/index.html>> Acesso em: 26 de outubro de 2021
- BETARELLI JUNIOR, Admir Antônio; BASTOS, Suzana Quinet de Andrade; PEROBELLI, Fernando Salgueiro. **Interações e encadeamentos setoriais com os modais de transporte: uma análise para diferentes destinos das exportações brasileiras**. *Economia Aplicada*, v. 15, p. 223-258, 2011.
- CARVALHO, T. S.; PEROBELLI, F. S.. **Avaliação da intensidade de emissões de CO2 setoriais e na estrutura de exportações: um modelo inter-regional de insumo-produto São Paulo/restante do Brasil**. *Economia Aplicada*, v. 13, n. 1, p. 99-124, 2009
- COMEX STAT. Estatísticas de Comércio Exterior. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. Disponível em: <<http://comexstat.mdic.gov.br/pt/comex-vis>> Acesso em: 01 de novembro de 2021.

COPELAND, B. A.; TAYLOR, M. S. **North-South trade and the environment**. Quarterly Journal of Economics, v. 109, n. 3, p. 755-787, 1994.

DE SOUZA, K. B.; RIBEIRO, L. C. de S.; PEROBELLI, F. S. **Reducing Brazilian greenhouse gas emissions: scenario simulations of targets and policies**. Economic Systems Research, v. 28, n. 4, p. 482-496, 2016.

DIETZENBACHER, Erik; LINDEN, Jan A. van der; STEENGE, Alben E. **The regional extraction method: EC input-output comparisons**. Economic Systems Research, v. 5, n. 2, p. 185-206, 1993.

ECONOMIA E ENERGIA. **Coefficientes da matriz de emissões**. Projeto “Fornecimento de instrumentos de avaliação de emissões de gases efeito estufa acopladas a uma matriz energética”. n. 24, 2000.

FERNG, Jiun-Jiun. **Allocating the responsibility of CO₂ over-emissions from the perspectives of benefit principle and ecological deficit**. Ecological economics, v. 46, n. 1, p. 121-141, 2003.

FIGUEIREDO, Nayana Ruth Manguera de; DE ARAÚJO JÚNIOR, Ignácio Tavares; PEROBELLI, Fernando Salgueiro. **Construção da matriz de insumo-produto híbrida para o estado de Pernambuco e avaliação da intensidade energética e de emissões de CO₂ setorial**. Fórum Banco do Nordeste do Brasil de desenvolvimento–XIV Encontro regional de economia, p. 16-17, 2009.

GUILHOTO, J. J. M.. In: Biasoto Junior, G.; Palma e Silva, L. A. (Org.). O Desenvolvimento em Questão, São Paulo: FUNDAP, 2010, p. 125-135.

GUILHOTO, J. J. M. Análise de insumo-produto: teoria e fundamentos. 2011.

HADDAD, Eduardo Amaral; PEROBELLI, Fernando Salgueiro; DOS SANTOS, Raul Antonio Cristóvão. **Inserção econômica de Minas Gerais: uma análise estrutural**. Nova Economia, v. 15, n. 2, p. 63-90, 2005.

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.

HILGEMBERG, E. M. **Quantificação e efeitos econômicos do controle de emissões de co2 decorrentes do uso de gás natural, álcool e derivados de petróleo no Brasil: um modelo inter-regional de insumo-produto.** 2005. 158f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/>> Acesso em: 01 de novembro de 2021.

LEONTIEF, Wassily. **Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach.** The Review of Economics and Statistics 52, n. 3, p. 262–71, 1970. Disponível em <<https://doi.org/10.2307/1926294>> Acesso em: 19 de outubro de 2021.

MACHADO, Giovani; SCHAEFFER, Roberto; WORRELL, Ernst. **Energy and carbon embodied in the international trade of Brazil: an input–output approach.** Ecological economics, v. 39, n. 3, p. 409-424, 2001.

MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. **Input-output analysis: foundations and extensions.** Cambridge university press, 2009.

MONTOYA, Marcos Antonio; PASQUAL, Cassia Aparecida; COSTA, Thelmo V.M.; GUILHOTO, Joaquim J.M.. **Consumo setorial de combustíveis e emissões de dióxido de carbono (CO2) na economia do Rio Grande do Sul: uma abordagem insumo-produto híbrida.** Passo Fundo: Feac/UPF, 2013. (Texto para Discussão, n. 6). Disponível em: <http://cepeac.upf.br/images/stories/texto_discussao_06_2013.pdf>. Acesso em: 19 de outubro de 2021.

MUNKSGAARD, Jesper; PEDERSEN, Klaus Alsted. **CO2 accounts for open economies: producer or consumer responsibility.** Energy policy, v. 29, n. 4, p. 327-334, 2001.

PEROBELLI, Fernando; HADDAD, Eduardo; DOMINGUES, Edson. **Interdependence among the Brazilian states: an input-output approach.** 2006.

PEROBELLI, Fernando Salgueiro; HADDAD, Eduardo Amaral; MOTA, Glaucia Possas; FARINAZZO, Rodrigo Antônio. **Estrutura de interdependência inter-regional no Brasil: Uma análise espacial de insumo-produto para os anos de 1996 e 2002.** 2010. Disponível em <<http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/5101>> Acesso em: 19 de outubro de 2021.

PETERS, Glen; HERTWICH, Edgar. **Production factors and pollution embodied in trade: Theoretical development.** 2004.

PETERS, Glen P.; HERTWICH, Edgar G. **Structural analysis of international trade: Environmental impacts of Norway**. Economic Systems Research, v. 18, n. 2, p. 155-181, 2006.

SANTIAGO, Flaviane Souza; CARVALHO, Terciane Sabadini; PEROBELLI, Fernando Salgueiro. **Análise setorial da intensidade de emissões de CO2 e na estrutura de exportações: um modelo regional de insumo-produto para Minas Gerais**. XIV Seminário sobre a Economia Mineira, p. 1-18, 2010.

VALE, Vinícius de Almeida. **Comércio internacional e emissões: uma análise longitudinal de insumo-produto**. 2014.

WIEBE, K. S.; BRUCKNER, M.; GILJUM, S.; LUTZ, C. **Calculating energy-related CO2 emissions embodied in international trade using a global input-output model**. Economic Systems Research, v. 24, n. 2, p. 113-139, 2012.

WYCKOFF, Andrew W.; ROOP, Joseph M. **The embodiment of carbon in imports of manufactured products: implications for international agreements on greenhouse gas emissions**. Energy policy, v. 22, n. 3, p. 187-194, 1994.

APÊNDICE A – Compatibilização e agregação dos setores

Compatibilização das atividades				
Agregação		MIP IR SP-RBR 2011		Matrizes Energéticas Brasil e SP 2011
Atividades		Setores	Descrição	Descrição
1	Agropecuária	1	Agricultura, inclusive o apoio à agricultura e a pós-colheita	Agropecuário
		2	Pecuária, inclusive o apoio à pecuária	
		3	Produção florestal pesca e aquicultura	
2	Mineração e Pelotização	4	Extração de carvão mineral e de minerais não-metálicos	Mineração e Pelotização
		5	Extração de petróleo e gás, inclusive as atividades de apoio	
		6	Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração	
		7	Extração de minerais metálicos não-ferrosos, inclusive beneficiamentos	
3	Alimentos e Bebidas	8	Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca	Alimentos e bebidas
		9	Fabricação e refino de açúcar	
		10	Outros produtos alimentares	
		11	Fabricação de bebidas	
4	Têxtil	13	Fabricação de produtos têxteis	Têxtil
		14	Confecção de artefatos do vestuário e acessórios	
		15	Fabricação de calçados e de artefatos de couro	
5	Papel e Celulose	16	Fabricação de produtos da madeira	Papel e celulose
		17	Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	
6	Química	21	Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros	Química
		22	Fabricação de defensivos, desinfestantes, tintas e químicos diversos	
		23	Fabricação de produtos de limpeza, cosméticos/perfumaria e higiene pessoal	
		24	Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos	

		25	Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	
7	Energético	19	Refino de petróleo e coquearias	Setor energético
		20	Fabricação de biocombustíveis	
		38	Energia elétrica, gás natural e outras utilidades	
8	Minerais Não-Metálicos	26	Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	Cimento
				Cerâmica
9	Metalurgia	27	Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura	Ferro-Gusa e aço
		28	Metalurgia de metais não-ferrosos e a fundição de metais	Ferro-Ligas
		29	Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	Não-ferrosos e outros da metalurgia
10	Outras Indústrias	12	Fabricação de produtos do fumo	Outros
		18	Impressão e reprodução de gravações	
		30	Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos	
		31	Fabricação de máquinas e equipamentos elétricos	
		32	Fabricação de máquinas e equipamentos mecânicos	
		33	Fabricação de automóveis, caminhões e ônibus, exceto peças	
		34	Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores	
		35	Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores	
		36	Fabricação de móveis e de produtos de indústrias diversas	
		37	Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	
		40	Construção	
11	Comércio e Serviços	41	Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas	Comercial
		42	Comércio por atacado e a varejo, exceto veículos automotores	
		46	Armazenamento, atividades auxiliares dos transportes e correio	
		47	Alojamento	

		48	Alimentação	
		49	Edição e edição integrada à impressão	
		50	Atividades de televisão, rádio, cinema e gravação/edição de som e imagem	
		51	Telecomunicações	
		52	Desenvolvimento de sistemas e outros serviços de informação	
		53	Intermediação financeira, seguros e previdência complementar	
		54	Atividades imobiliárias	
		55	Atividades jurídicas, contábeis, consultoria e sedes de empresas	
		56	Serviços de arquitetura, engenharia, testes/análises técnicas e P & D	
		57	Outras atividades profissionais, científicas e técnicas	
		58	Aluguéis não-imobiliários e gestão de ativos de propriedade intelectual	
		59	Outras atividades administrativas e serviços complementares	
		60	Atividades de vigilância, segurança e investigação	
		63	Educação privada	
		65	Saúde privada	
		66	Atividades artísticas, criativas e de espetáculos	
		67	Organizações associativas e outros serviços pessoais	
		68	Serviços domésticos	
12	Transporte Terrestre	43	Transporte terrestre	Transporte rodoviário Transporte ferroviário
13	Outros Transportes	44	Transporte aquaviário	Transporte hidroviário
		45	Transporte aéreo	Transporte aéreo
14	Público	39	Água, esgoto e gestão de resíduos	Público
		61	Administração pública, defesa e seguridade social	
		62	Educação pública	
		64	Saúde pública	

Fonte: Elaboração própria

ANEXO A – Coeficientes de conversão de consumo de CO₂eq

Setor	Óleo diesel	Óleo combustível	Gasolina	GLP	Querosene	Gás	Coq. de carvão e min	Carvão vegetal	Álcool etílico	Outras fontes sec. do petróleo
Energético	3,07	3,21	2,87	2,61	2,98	3,07	3,94	3,86	3,00	3,07
Comercial	3,07	3,21	2,87	2,61	2,98	3,07	3,81	3,48	2,71	3,07
Público	3,07	3,21	0,00	2,61	2,98	3,07	0,00	3,79	0,00	0,00
Agropecuário	3,07	3,21	2,87	2,61	2,98	3,07	3,78	3,46	2,39	3,07
Rodoviário	3,00	0,00	2,35	0,00	0,00	0,00	0,00	3,95	2,76	3,07
Ferrovário	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aéreo	3,07	3,21	2,87	2,62	2,97	3,07	3,95	3,95	3,07	3,07
Hidroviário	3,00	3,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cimento	3,07	3,21	2,87	2,62	2,98	3,07	3,93	3,66	2,80	3,07
Ferro Gusa e Aço	3,07	3,21	2,87	2,62	2,98	3,07	3,93	3,66	2,80	3,07
FerroLigas	3,07	3,21	2,87	2,62	2,98	3,07	3,93	3,66	2,80	3,07
Mineração e Pelotização	3,07	3,21	2,87	2,62	2,98	3,07	3,93	3,66	2,80	3,07
Não Ferrosos e outros metais	3,07	3,21	2,87	2,62	2,98	3,07	3,93	3,66	2,80	3,07
Química	3,07	3,21	2,87	2,62	2,98	3,07	3,93	3,66	2,80	3,07
Alimentos e Bebidas	3,07	3,21	2,87	2,61	2,98	3,07	3,81	3,48	3,03	3,07
Têxtil	3,07	3,21	2,87	2,62	2,98	3,07	3,93	3,66	2,80	3,07
Papel e Celulose	3,07	3,21	2,87	2,62	2,98	3,07	3,93	3,66	2,80	3,07
Cerâmica	3,07	3,21	2,87	2,62	2,98	3,07	3,93	3,66	2,80	3,07
Outros	3,07	3,21	2,87	2,62	2,98	3,07	3,93	3,66	2,80	3,07

Fonte: Economia e Energia, 2000