

# ESTRUTURAS PRODUTIVAS REGIONAIS COM MATRIZES INSUMO-PRODUTO E ILUSTRAÇÃO DE APLICAÇÃO AMBIENTAL<sup>1</sup>

Bernardo Alves Furtado<sup>2</sup>

Gustavo L. Rocha Lima<sup>3</sup>

Olandia Ferreira Lopes<sup>4</sup>

## SINOPSE

Este artigo apresenta uma alternativa para a regionalização da matriz de insumo-produto, permitindo análises econômicas detalhadas em diferentes escalas, ao considerar as especificidades produtivas de cada região. Decompondo a matriz de coeficientes técnicos em submatrizes flexíveis, é possível representar as necessidades de insumos dos setores regionais como sendo produzidos localmente por agrupamentos de municípios ou pelo restante do país. Dessa forma, é possível avaliar a suficiência da produção local e a necessidade de importar insumos de outras regiões. Utilizamos o quociente de localização simples (SLQ) e o quociente de localização cruzada entre indústrias (CILQ), além da extensão proposta por Flegg, Webber e Elliott (1995) e empregada por Pangallo *et al.* (2023), para medir a concentração regional das atividades setoriais. Esta metodologia aprimora a capacidade de identificar setores-chave e prever impactos econômicos e ambientais, fornecendo uma ferramenta robusta para a formulação e análise de políticas regionais e ambientais.

**Palavras-chave:** matriz de *input-output*; planejamento regional; análise econômica; avaliação ambiental.

## 1 INTRODUÇÃO

A estrutura produtiva de uma região, com suas características específicas, é essencial para modelar dinâmicas setoriais e ambientais, que muitas vezes são negligenciadas em modelos agregados. Uma descrição detalhada da tecnologia econômica permite estudar com maior precisão os impactos de diversas condições econômicas e políticas públicas sobre a produção.

Neste artigo, propomos uma contribuição à literatura ao introduzir uma decomposição flexível da matriz de insumo-produto que pode ser aplicada a quaisquer grupos de municípios brasileiros, comparando-os com o restante do país. Essa abordagem permite uma análise econômica em diferentes escalas, incorporando as particularidades produtivas de cada região. Além disso, todas as áreas de concentração urbana do Censo Demográfico 2022 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) já foram calculadas e estão disponíveis, permitindo que pesquisadores acessem matrizes regionais já prontas ou personalizadas.

Nossa metodologia envolve a divisão da matriz de coeficientes técnicos em submatrizes que representam as necessidades de insumos dos setores regionais, tanto os produzidos localmente quanto aqueles oriundos do restante do país. Esse processo permite uma estimativa das interdependências regionais e setoriais, essencial para a formulação de políticas regionais eficazes.

1. DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/radar76art4>

2. Técnico de planejamento e pesquisa na Diretoria de Estudos e Políticas Setoriais, de Inovação, Regulação e Infraestrutura do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Diset/Ipea). *E-mail:* [bernardo.furtado@ipea.gov.br](mailto:bernardo.furtado@ipea.gov.br).

3. Pesquisador bolsista do Subprograma de Pesquisa para o Desenvolvimento Nacional (PNPD) na Diset/Ipea. *E-mail:* [gustavorochalima13@gmail.com](mailto:gustavorochalima13@gmail.com).

4. Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), *campus Jequié*. *E-mail:* [olandialopes@ifba.edu.br](mailto:olandialopes@ifba.edu.br).

Para ilustrar o modelo que fundamenta essa metodologia, consideramos a cidade de São Paulo. Dividimos a matriz de coeficientes técnicos para representar os insumos produzidos localmente e os provenientes de outras regiões do Brasil com base na presença relativa das atividades econômicas na região estudada.

As matrizes regionais produzidas também serão utilizadas para a simulação de mercados em modelos baseados em agentes, com a estimativa de emissões de gases de efeito estufa para políticas comparadas. Esse uso possibilita uma análise regionalizada e setorial do impacto ambiental de diferentes cenários econômicos e regulatórios.

Para mensurar a concentração regional das atividades setoriais e a capacidade de suprir as necessidades locais, utilizamos o quociente de localização simples (SLQ) e o quociente de localização cruzada entre indústrias (CILQ). Estas ferramentas fornecem medidas da concentração setorial e da importância relativa dos setores.

Dessa forma, a metodologia empregada oferece uma ferramenta robusta para analisar e prever os impactos econômicos e ambientais regionais, contribuindo para uma melhor compreensão das dinâmicas produtivas locais e para a formulação de políticas públicas mais informadas.

## 2 MATRIZES REGIONAIS E CONCENTRAÇÃO DE ATIVIDADES

A modelagem que utilizamos baseia-se na análise de insumo-produto, conforme sistematizada por Miller e Blair (2022). Este modelo descreve as trocas entre setores necessárias para a produção em um determinado período, permitindo entender o consumo intermediário de insumos pelos diferentes setores e decompor o produto em seus componentes de valor adicionado setoriais. O IBGE divulga, a cada cinco anos, a matriz insumo-produto nacional, sendo a mais recente do ano de 2015.

Com a matriz insumo-produto, podemos determinar, em valores monetários, quanto as firmas de determinado setor demandaram de outro para produzir seu valor adicionado em um determinado ano. Cada coluna da matriz funciona como uma “receita” de insumos para a produção de cada setor. Podemos resumir o modelo com a seguinte equação, que representa as interações produtivas em uma economia com  $n$  setores:

$$X_{n \times 1} = A_{n \times n} X_{n \times 1} + f_{n \times 1} \quad (1)$$

Nessa,  $X$  é a matriz de produto total (consumo intermediário e demanda final),  $f$  é a matriz de demanda final, e  $A$  é a matriz de coeficientes técnicos. Os elementos  $a_{ij}$  de  $A$  mostram quantas unidades de produto do setor  $i$  o setor  $j$  necessita consumir para produzir uma unidade de produto final. Assumindo que a relação entre insumos e produção é constante e não varia com a escala de produção, conforme a função de produção de Leontief, chega-se ao modelo insumo-produto tradicional.

A regionalização consiste em dividir a matriz de coeficientes técnicos  $A$  da equação (1) em quatro matrizes, representando: a necessidade de insumos dos setores da região produzidos pela própria região; a necessidade de insumos dos setores da região produzidos pelo restante do país; a necessidade de insumos dos setores do resto do país produzidos pela região; e a necessidade de insumos dos setores do resto do país produzidos pelo restante do país.

Uma hipótese importante na análise é assumir que a tecnologia (insumos necessários para a produção de cada setor) é uniforme em todas as regiões do país. Assim, basta determinar qual parte dos insumos utilizados pelas empresas de um setor na região modelada é obtida localmente e qual vem de outras regiões. Utilizamos a concentração regional das atividades setoriais para avaliar se a produção local é suficiente para atender às demandas internas.

Para ilustrar, consideramos o município de São Paulo, dividindo a matriz  $A$  da seguinte forma:

$$A^{SP \rightarrow SP} + A^{RoBR \rightarrow SP} = A \quad (2)$$

Nessa equação,  $A^{SP \rightarrow SP}$  representa os insumos usados pelas firmas de São Paulo obtidos em São Paulo. Assumimos que as firmas locais usam a mesma proporção de insumos do resto do país, de modo que a quantidade de insumos locais e externos deve somar exatamente o coeficiente nacional, por isso a igualdade. A igualdade se aplica também para as firmas no resto do Brasil:

$$A^{SP \rightarrow RoBR} + A^{RoBR \rightarrow RoBR} = A \quad (3)$$

Para cada coeficiente  $a_{ij}$  da matriz  $A$ , calculamos  $\rho_{ij}^{SP}$  e ajustamos da seguinte forma:  $a_{ij}^{SP \rightarrow SP} = \rho_{ij}^{SP} a_{ij}$ . A matriz  $A^{RoBR \rightarrow SP}$  é obtida invertendo a igualdade supracitada.

O método empregado para obter  $\rho$  é o método dos quocientes locais, que se baseia na presença relativa dos setores nas diferentes regiões. Calculamos o coeficiente locacional simples com a seguinte equação para o setor  $i$ :

$$SLQ_i^{SP} = \frac{\frac{y_i^{SP}}{y_i}}{y} \quad (4)$$

Nessa,  $y_i$  é o produto do setor  $i$ , e  $y$ , o total. Sem o sobrescrito, representa o somatório nacional. O  $SLQ$  mede a concentração setorial. Se ele for maior que 1, o setor  $i$  é mais concentrado na região (São Paulo) do que no Brasil como um todo. O  $CILQ_{ij}$  é calculado usando o  $SLQ$ :

$$CILQ_{ij} = \frac{SLQ_i^{SP}}{SLQ_j^{SP}} \quad (5)$$

O coeficiente  $CILQ_{ij}$  representa a importância relativa do setor  $i$  em comparação ao  $j$  na região. Se  $CILQ_{ij}$  for maior que 1, o setor  $i$  é mais importante relativamente ao  $j$  em São Paulo. Dessa maneira, o setor  $i$  é capaz de suprir as necessidades do setor  $j$  localmente. Em contrapartida, se for menor que 1, as firmas do setor  $j$  em São Paulo precisam importar insumos do setor  $i$  do resto do país, uma vez que o setor  $i$  está menos presente que o  $j$ .

Para aprimorar a precisão da análise, usamos a extensão proposta por Flegg, Webber e Elliott (1995), conforme apresentada por Pangallo *et al.* (2023), que tem melhor desempenho em relação ao  $CILQ$ . Ela é definida por:

$$FLQ_{ij}^{SP} = \begin{cases} \lambda SLQ_i & \text{se } i = j, \\ \lambda CILQ_{ij} & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (6)$$

Nessa equação,  $\lambda = \log_2 \left( 1 + \frac{y^{SP}}{y} \right)^\delta$  com  $\delta \in [0,1)$ . Seguimos a recomendação de Pangallo *et al.* (2023) de utilizar  $\delta = 0,15$ . O principal intuito da extensão de Flegg, Webber e Elliott (1995) foi tratar da superestimação dos coeficientes do  $CILQ$  e dos demais coeficientes locais, que indicariam uma maior proporção de consumo intermediário local do que a realidade, subestimando as trocas inter-regionais. O  $\lambda \in [\log_2 1, 1]^5$  faz, portanto, um papel de redutor do  $CILQ$  com base no tamanho relativo do produto da região analisada. O parâmetro  $\beta$ , por sua vez, indica a sensibilidade do fator redutor ao tamanho da região.

Por fim, obtemos  $\rho_{ij}$  com a relação:

$$\rho_{ij}^{SP} = \begin{cases} FLQ_{ij}^{SP} & \text{se } FLQ_{ij}^{SP} < 1 \\ 1 & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (7)$$

Aplicando essa metodologia para São Paulo e para o restante do Brasil, obtemos uma matriz  $A'$  de dimensões  $2n \times 2n$ , consolidando a estrutura tecnológica regional e as interações com o resto do país:

$$A' = \begin{bmatrix} A^{SP \rightarrow SP} & A^{RoBR \rightarrow SP} \\ A^{SP \rightarrow RoBR} & A^{RoBR \rightarrow RoBR} \end{bmatrix} \quad (8)$$

5.  $\log_2 1 \approx 0,693$ .

Para completar a regionalização do modelo, aplicamos a metodologia à matriz de demanda final, multiplicando cada linha da matriz pelo respectivo  $\rho_{ii}$ , ajustando para a proporção do setor na região.

### 3 ESTRUTURA PRODUTIVA DAS CONCENTRAÇÕES URBANAS BRASILEIRAS

Para efetivamente calcular as matrizes de coeficientes técnicos de determinada região, aplicamos a metodologia descrita na seção anterior usando dados salariais por setor obtidos da Relação Anual de Informações Sociais (Rais). Dessa forma, a massa salarial de determinado setor serve como *proxy* para o produto para calcular os coeficientes na equação (4). Além disso, a divisão setorial utilizada foi a da Economic Transformation Database, do Groningen Growth and Development Centre/United Nations University World Institute for Development Economics Research (GGDC/UNU-Wider), que agrega em doze os setores da International Standard Industrial Classification (Isic).

Conduzimos a regionalização das matrizes para todas as concentrações urbanas descritas pelo IBGE,<sup>6</sup> que são compostas por diversos municípios integrados socioeconomicamente. Podemos visualizar o resultado por meio das matrizes  $\rho$  na figura 1, representando as proporções dos insumos obtidos localmente e no resto do Brasil para concentrações urbanas selecionadas.

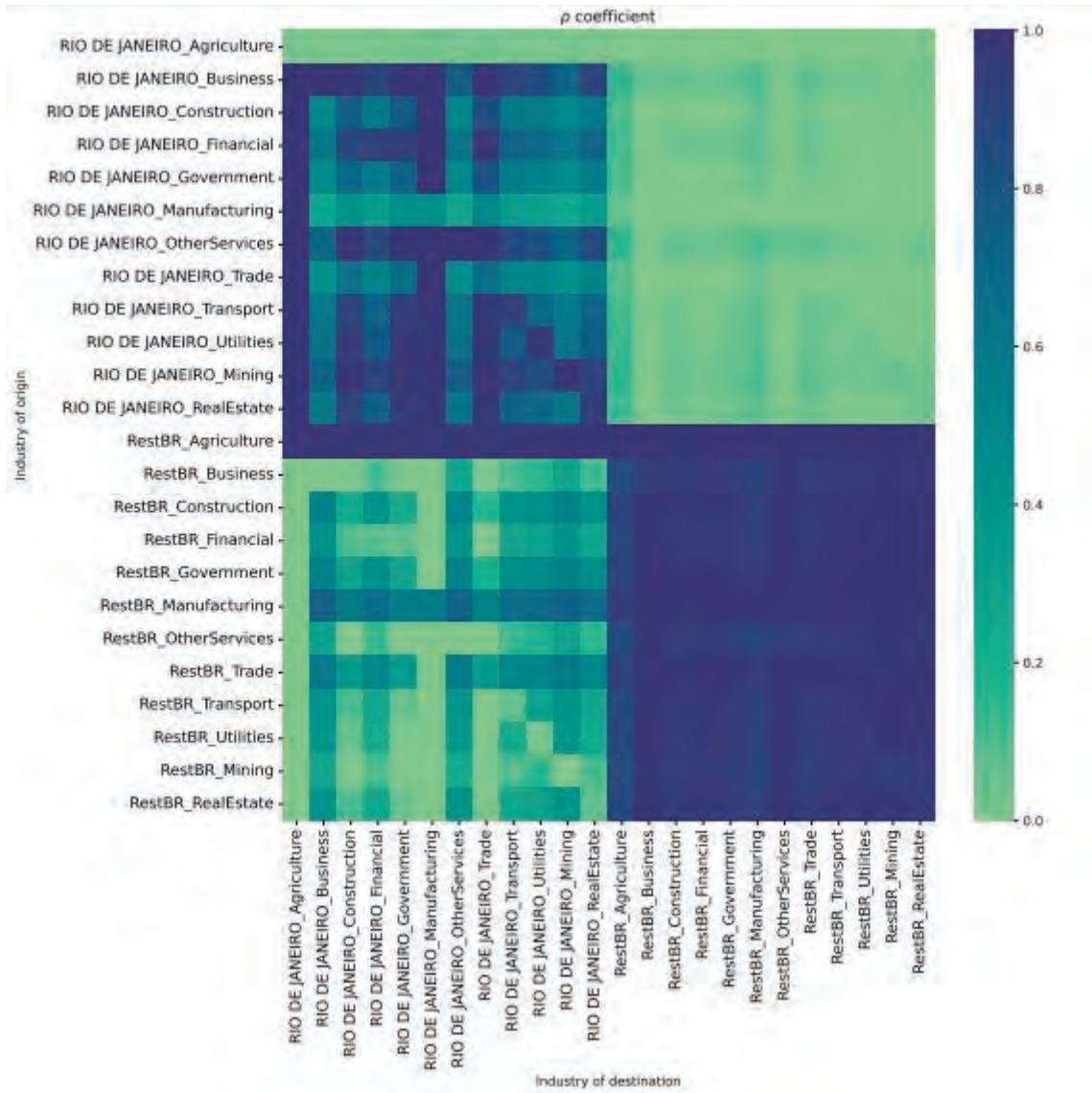
6. O código e os dados utilizados nos cálculos estão disponíveis em: [https://github.com/BAFurtado/io\\_rest](https://github.com/BAFurtado/io_rest). Setores municipais com menos de três firmas não foram incluídos nos cálculos.



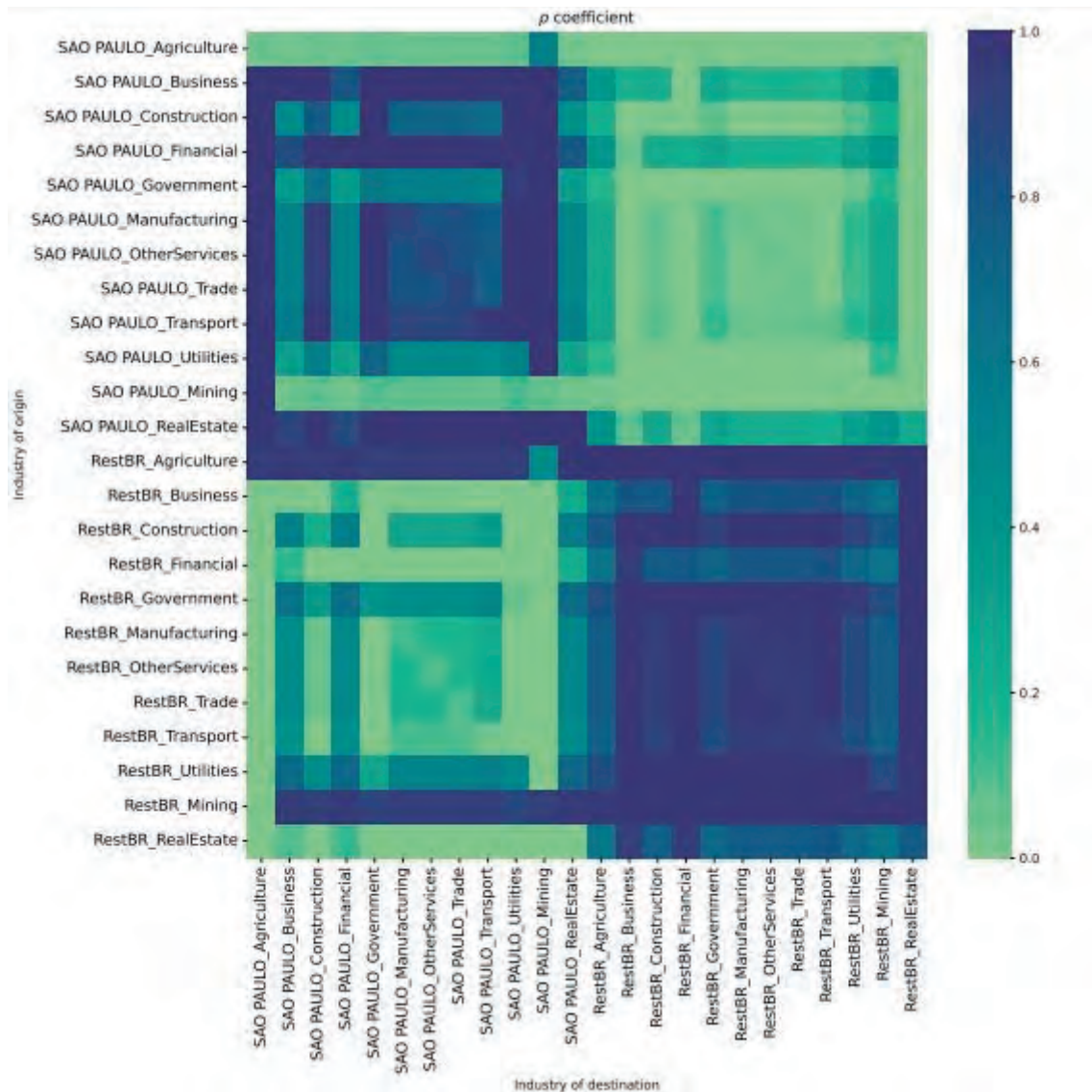




1C – Rio de Janeiro



## 1D – São Paulo



Fonte: GitHub Repository. Disponível em: [https://github.com/BAFurtado/io\\_rest](https://github.com/BAFurtado/io_rest).

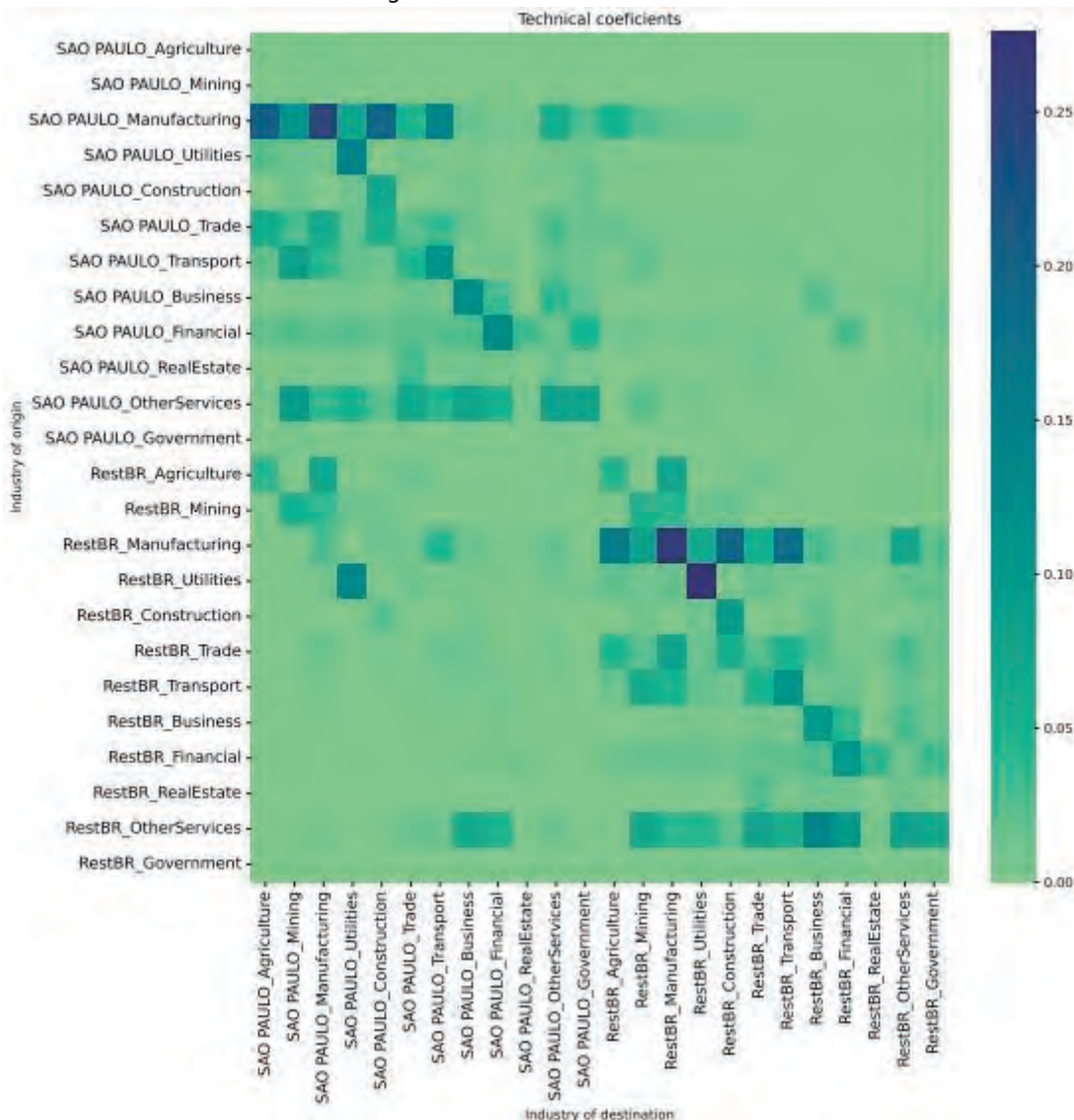
Obs.: A figura não pôde ser padronizada e revisada em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

Na imagem, tons mais escuros representam uma parcela maior dos insumos sendo provida pela região. As linhas representam o setor de origem do insumo, de acordo com sua localização, e as colunas indicam o setor de destino. É interessante notar, por exemplo, que o resto do Brasil consome principalmente insumos dos setores de *business*, *financial* e *real estate* de São Paulo. As firmas paulistas, entretanto, consomem insumos do setor de *government*, *utilities* e *mining* do restante do país. Brasília, por sua vez, demanda insumos da manufatura do resto do Brasil, porém provê insumos por meio do setor *government*.

Apresentamos o resultado final do processo, a matriz  $A'$ , contendo os coeficientes técnicos regionalizados, para os municípios da região metropolitana de São Paulo (figura 2). Ela consiste na multiplicação dos  $\rho_{ij}$  pelos coeficientes técnicos nacionais, oriundos da matriz calculada pelo IBGE.



**FIGURA 2**  
Matriz de coeficientes técnicos regionalizada – São Paulo



Fonte: GitHub Repository. Disponível em: [https://github.com/BAFurtado/io\\_rest](https://github.com/BAFurtado/io_rest).

Obs.: A figura não pôde ser padronizada e revisada em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

## 4 ILUSTRAÇÃO DOS IMPACTOS DE EMISSÕES

Uma das aplicações realizadas com a matriz insumo-produto foi a análise prospectiva de impacto ambiental. A inclusão da matriz decomposta na modelagem econômica existente nos permitiu estimar a ecoeficiência por setor e por município brasileiro.

O indicador de ecoeficiência é uma *proxy* obtida pela proporção entre os insumos (medidos em termos de massa salarial municipal por setor) e a geração de emissões de gases de efeito estufa e outros poluentes, para, desse modo, permitir estimativas. Por exemplo, se um setor em um município despende uma grande massa salarial e gera baixas emissões, ele é considerado ecoeficiente.

Uma vez calculada a ecoeficiência, é possível utilizar o indicador para realizar simulações e testes, permitindo projetar o comportamento das emissões por setor e município diante de mudanças na base produtiva. Isso é especialmente útil para: i) comparação entre regiões: avaliar e comparar a ecoeficiência de diferentes regiões, identificando áreas com maior potencial de redução de emissões; ii) simulação de políticas: simular o impacto de políticas públicas ambientais, como a implementação de tecnologias limpas ou incentivos fiscais para setores mais ecoeficientes; e iii) planejamento urbano: auxiliar no planejamento urbano sustentável, promovendo o desenvolvimento de setores mais ecoeficientes em determinadas regiões.

Embora a utilização da ecoeficiência inicialmente sugira uma linearidade na análise, com uma relação direta entre massa salarial e emissão de poluentes, a regionalização detalhada e setorial fornece uma dimensão espacial para o indicador, habilitando-o como estimativa para análises prospectivas.

## 5 CONCLUSÃO

Este estudo apresenta uma abordagem para a regionalização da matriz insumo-produto, permitindo análises econômicas e ambientais detalhadas em diferentes escalas. Ao decompor a matriz de coeficientes técnicos em submatrizes flexíveis, nossa metodologia possibilita avaliar a suficiência da produção local e a necessidade de importar insumos de outras regiões, proporcionando uma ferramenta robusta para a análise e formulação de políticas regionais e ambientais.

A possibilidade de aplicação desse método em simulações e análises comparativas, especialmente nas estimativas de ecoeficiência regional e de impacto de emissões, reforça a capacidade de prever os efeitos de diferentes cenários econômicos e regulatórios. Nesse contexto, nossa pesquisa contribui para uma melhor compreensão das dinâmicas produtivas locais e oferece uma base sólida para o desenvolvimento de políticas públicas mais informadas e eficazes, provendo uma opção de modelagem para incorporar as diferenças produtivas regionais. Com isso, esta pesquisa pode contribuir com a tomada de decisão em relação à necessidade de melhorias nos processos produtivos dos setores, como no caso da adoção da economia circular nas empresas com melhores práticas de sustentabilidade.

## REFERÊNCIAS

FLEGG, A. T.; WEBBER, C. D.; ELLIOTT, M. V. On the appropriate use of location quotients in generating regional input-output tables. **Regional Studies**, v. 29, n. 6, p. 547-561, 1995. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00343409512331349173>.

MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. **Input-output analysis: foundations and extensions**. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press, 2022. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=Qdz9zQEACAAJ>.

PANGALLO, M. *et al.* The unequal effects of the health-economy trade-off during the covid-19 pandemic. **Nature Human Behaviour**, v. 8, p. 264-275, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41562-023-01747-x>.



## **Ipea – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**

### **EDITORIAL**

#### **Coordenação**

Aeromilson Trajano de Mesquita

#### **Assistentes da Coordenação**

Rafael Augusto Ferreira Cardoso

Samuel Elias de Souza

#### **Supervisão**

Ana Clara Escórcio Xavier

Everson da Silva Moura

#### **Revisão**

Alice Souza Lopes

Amanda Ramos Marques Honorio

Barbara de Castro

Brena Rolim Peixoto da Silva

Cayo César Freire Feliciano

Cláudio Passos de Oliveira

Clícia Silveira Rodrigues

Nayane Santos Rodrigues

Olavo Mesquita de Carvalho

Reginaldo da Silva Domingos

Jennyfer Alves de Carvalho (estagiária)

Katarinne Fabrizzi Maciel do Couto (estagiária)

#### **Editoração**

Anderson Silva Reis

Augusto Lopes dos Santos Borges

Cristiano Ferreira de Araújo

Daniel Alves Tavares

Danielle de Oliveira Ayres

Leonardo Hideki Higa

#### **Capa**

Leonardo Hideki Higa

*The manuscripts in languages other than Portuguese  
published herein have not been proofread.*

#### **Ipea – Brasília**

Setor de Edifícios Públicos Sul 702/902, Bloco C

Centro Empresarial Brasília 50, Torre B

CEP: 70390-025, Asa Sul, Brasília-DF