



**Texto para Discussão 020 | 2023**

***Discussion Paper 020 | 2023***

## **Poluição por meio de poluição na estrutura produtiva brasileira: uma análise insumo-produto entre 2000 e 2019**

**Kaio Vital da Costa**

*Professor do Instituto de economia da UFRJ.*

*Membro do Grupo de Indústria e Competitividade (GIC/IE)*

*Membro do Grupo do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (GEMA)*

This paper can be downloaded without charge from

<https://www.ie.ufrj.br/publicacoes-j/textos-para-discussao.html>

# Poluição por meio de poluição na estrutura produtiva brasileira: uma análise insumo-produto entre 2000 e 2019

Julho, 2023

## Kaio Vital da Costa

*Professor do Instituto de economia da UFRJ.*

*Membro do Grupo de Indústria e Competitividade (GIC/IE)*

*Membro do Grupo do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (GEMA)*

## Resumo

O objetivo do estudo foi analisar a relação entre os padrões de interdependência dentro e entre blocos de setores e os padrões de emissões a partir de matrizes de insumo-produto entre 2000 e 2019. A noção de blocos de setores guarda estreita relação com os conceitos de subsistemas e blocos de desenvolvimento (*filières*, indústrias motrizes e complexos industriais), mostrando a importância de uma análise centrada na interdependência dentro e entre os blocos de setores. A decomposição das emissões em efeitos de transferência, transbordamento e retroalimentação mostrou a importância dos blocos industriais (indústria tradicional e inovativa) para a difusão das emissões a partir dos encadeamentos para trás, enquanto os blocos de setores localizados no início e fim das cadeias produtivas são importantes para as emissões intrabloco e na retroalimentação, respectivamente. De um ponto de vista dos encadeamentos para frente, os efeitos extrabloco (transbordamento e retroalimentação) foram importantes para os blocos da agropecuária e commodities industriais, transporte, geração de eletricidade e serviços, enquanto os blocos industriais contribuíram em menor medida para a difusão das emissões. A formulação de políticas como *big push* ambiental ou *green new deal* deve incorporar em seus instrumentais analíticos a relação entre os blocos de setores e seus impactos sobre os padrões de emissões.

**Palavras-chave:** gases de efeito estufa; insumo-produto; modelos multissetoriais

## **Abstract**

The study mainly aimed to analyze Brazil's carbon emission spillover and feedback effects based on an input-output model between 2000 and 2019. Intersectoral carbon transfer includes three aspects of effects: multiplier, spillover and feedback effects. However, most studies have been focusing only on the one-way impact of emissions transfer, which is the multiplier and spillover effects. This paper introduces a new spillover-feedback effects model to measure the two-way impact of emissions transfer between groups of industries. Understanding intergroup two-way impact mechanisms is essential in big push or green new deal policies.

**Keywords:** greenhouse gas effects; input-output; multisectoral models

**JEL Classification:** C67; Q56

# 1 Introdução

O choque de oferta e demanda causado pela pandemia do COVID-19 teve um impacto negativo significativo na produção industrial global e está mudando a estratégia de vários setores industriais por meio da reorganização de suas cadeias de valor. Esses choques ocorreram em um contexto de fortes preocupações sobre a importância da descarbonização dos setores econômicos e o papel dos gases de efeito estufa (GEE) sobre o bem-estar das pessoas, devido aos riscos do aquecimento global e os impactos decorrentes na atividade econômica. A necessidade de descarbonizar diferentes setores da economia, por meio de investimentos em inovações tecnológicas e outras medidas, realçam a importância de entendermos como as emissões são impactadas pela dinâmica das interdependências entre diferentes setores e blocos de setores. A formulação de políticas de financiamento de um *big push* ambiental e um *green new deal* para o Brasil (Gramkow, 2019; Alvarenga Júnior, Costa e Young, 2021) já apontam para a necessidade de ir além de um análise custo-benefício baseada em precificação do carbono.

A extensão e o ritmo do crescimento econômico dependem crucialmente da estrutura do sistema econômico. Em particular, uma análise detalhada das ligações intersetoriais e blocos industriais — ou seja, as cadeias de setores mais importantes na tabela de insumo-produto, pois denotam a estrutura mais importante ou fundamental de um sistema econômico (Hoen, 2002) — por um lado, e da circularidade da produção — ou seja, a extensão e o caráter indireto das ligações entre as indústrias dentro do processo de produção abrangente de cada item da demanda final — por outro lado, são de extrema importância para a definição de políticas industriais eficazes. Enquanto a primeira tarefa pode ser realizada por meio da análise de cluster, a segunda depende de procedimentos de blocos de setores. Nesse sentido, podemos pensar os blocos setoriais<sup>1</sup> em uma tabela de insumo-produto em termos da noção de polos ou “blocos” de desenvolvimento (Perroux, 1957; Dahmén, 1988)<sup>2</sup>. Isso significa que podemos analisar a dinâmica que

---

<sup>1</sup> No presente estudo, vamos utilizar como sinônimos blocos industriais e blocos setoriais.

<sup>2</sup> Embora Perroux (1957) aplique a noção de polos de desenvolvimento de um ponto de vista espacial ou geográfico, podemos fazer uma analogia entre as regiões (blocos) de um país e os blocos setoriais de uma tabela de insumo-produto. Na seção metodológica, discutiremos esses aspectos.

ocorrem dentro e entre os blocos de setores, permitindo um melhor entendimento de como esses diferentes subsistemas impactam em termos de emprego, renda e emissões.

Embora a literatura de insumo-produto seja rica em indicadores relacionando impactos setoriais sobre as emissões, até onde sabemos, pouca atenção tem sido dedicada ao fato de que a identificação de blocos de setores fornece uma partição da rede interindústria, que pode ser tratada de maneira semelhante (de uma perspectiva ponto de vista puramente formal) como a partição em regiões de uma tabela insumo-produto multirregional. A análise das relações interindustriais por blocos de matrizes permite recuperarmos, em termos teóricos e empíricos, a noção de polos ou blocos de desenvolvimento. Em um contexto de recuperação da importância das políticas industriais e da necessidade de esverdeamento de setores, é importante analisar as mudanças que ocorrem dentro e entre os setores econômicos. Uma dificuldade para as políticas industrial e ambiental é que mesmo se identificarmos os principais emissores de  $CO_2$  (ou setores-chave), simplesmente classificando vários indicadores de emissão das indústrias e forçar os principais emissores a reduzir suas emissões, há um limite tecnológico para o quanto eles podem reduzir suas emissões sozinhos.

Um bloco de desenvolvimento pode ser analisado a partir do agrupamento de setores em subsistemas, que possuem características relativamente similares. Nesse estudo, vamos utilizar uma versão ligeiramente modificada da tipologia elaborada por Torracca e Kupfer (2014), agrupando os setores em cinco blocos de setores: i. commodities agrícolas e agropecuária, ii. commodities agrícolas processadas, iii. indústria tradicional, iv. indústria inovativa e v. serviços (incluindo Geração e distribuição de eletricidade e transportes)<sup>3</sup>. A maior parte dos estudos utilizam indicadores sintéticos de encadeamentos (encadeamentos para trás e para frente) para analisar os impactos diretos e indiretos de um setor e indicar os setores-chave da economia. Contudo, esses indicadores são incapazes de decompor os efeitos que ocorrem dentro dos setores, de transbordamento

---

<sup>3</sup> A questão é como esses dados podem ser usados para delimitar grupos de atividades econômicas inter-relacionadas. Um cluster será definido aqui como um grupo de atividades econômicas que está relativamente intimamente ligado – de modo que mudanças em qualquer uma das atividades tenham impactos mutuamente reforçados em outras atividades no mesmo cluster.

para os demais setores (*spillover effects*) e efeitos de retroalimentação entre os setores (*feedback effects*). Esse tipo de decomposição permite recuperar a noção de blocos de desenvolvimento, tendo em vista que podemos analisar os impactos dos blocos de setores na difusão de sua influência econômica e ambiental aos demais setores. Como apontado por Hoen (2002), os índices de encadeamento referem-se principalmente ao efeito de um setor específico sobre os outros setores ou ao efeito de cada setor no sistema econômico como um todo. Esses índices não são adequados para responder a perguntas sobre quais setores estão fortemente inter-relacionados.

O objetivo do presente estudo é analisar as emissões de  $CO_2$  a partir das interdependências entre os subsistemas da economia brasileira de 2000 a 2019. A análise insumo-produto estendida ambientalmente ajuda a determinar que tipo de medidas políticas são melhores e em quais setores as políticas de mitigação serão mais eficazes. Combinamos duas metodologias de decomposição. Primeiramente, aplicamos a decomposição multiplicativa desenvolvida por Pyatt e Round (1979) e posteriormente aplicada a multiplicadores inter-regionais por Miller (1969), Sonis e Hewings (1993) e Dietzenbacher (2002) para analisar a relação entre cada subsistema e o restante da economia. Essa metodologia captura todo o fluxo circular de transações para a produção na economia. Em segundo lugar, aplicamos a decomposição aditiva para analisar a relação dentro do próprio subsistema. Isso permite uma interpretação mais intuitiva e fácil das relações dentro dos setores do subsistema. A decomposição multiplicadora pode ser interpretada como sistemas que produzem poluição por meio de poluição, como uma aplicação ambientalmente estendida da “produção de commodities por meio de commodities” de Sraffa (1972). Até o ponto que temos conhecimento, esse é o primeiro estudo a analisar as emissões interindustriais do Brasil a partir da noção de subsistemas ou partições de matrizes de insumo-produto.

O artigo está estruturado em mais três seções, além desta introdução e das conclusões. A seção 2 apresenta a discussão sobre os blocos de desenvolvimento, subsistemas e sua utilização em matrizes de insumo-produto. A seção 3 apresenta a metodologia para o cálculo dos indicadores e a base de dados utilizada. Por fim, a seção 4 discute os resultados encontrados e políticas setoriais de mitigação de carbono para a economia brasileira.

## 2 Poluição por meio de poluição a partir dos padrões de interdependências setoriais: a importância da noção de blocos de desenvolvimento

Os fundamentos teóricos e as características dos polos de crescimento vêm de um antigo referencial teórico cujo precursor é Perroux (1957)<sup>4</sup>. Segundo ele, “o crescimento não aparece em todos os lugares ao mesmo tempo, mas se manifesta na forma de pontos ou polos de crescimento com intensidades variáveis, se espalha por vários canais e com efeitos terminais variáveis para toda a economia” (Perroux, 1961, p. 178). Os polos de crescimento têm uma dupla função. Por um lado, acumulam excedentes - "pela sua própria dinâmica ou por imposição ao ambiente", por outro lado, constituem lugares de impulso econômico - "na medida em que utilizam esses excedentes para gerar receitas mais ou menos substanciais e efeitos-cascata sobre a economia como um todo” (Morvan, 1991, p. 537). O crescimento econômico seria necessariamente desbalanceado entre os diferentes blocos de setores, uma vez que gerariam diferentes capacidades de impulsionar as economias (Hirschman, 1958).

Isso significa que o crescimento não seria um processo uniforme, mas sim descontínuo ao longo do tempo, envolvendo diferentes padrões de interdependências entre os blocos de setores da economia. A difusão tecnológica, por exemplo, poderia ficar *locked in* (“presa”) em determinados subsistemas ou blocos (“ilhas de excelência”), impedindo seu transbordamento aos demais setores. Esse é um aspecto crucial no processo de

---

<sup>4</sup> Embora a noção de polos de desenvolvimento apresente similaridades com o conceito de blocos de desenvolvimento de Dahmén (1970 e 1988), ambos possuem importantes diferenças. A principal delas está relacionada com a introdução explícita por parte de Dahmén do conceito de atividades inovadoras no sentido schumpeteriano. Os setores ou clusters seriam agrupados de acordo com suas diferentes capacidades inovadoras, coevoluindo a partir das interações ou interdependências tecnológicas. A dinâmica de um bloco de desenvolvimento é dada pelo fato de que novas tecnologias ou inovações requerem e estimulam esforços de investimento e desenvolvimento em outras indústrias. Isso indica que as inovações criam complementaridades ou dependências entre empresas, tecnologias, indústrias ou instituições. Nesse processo surgem obstáculos e desequilíbrios que exigem o alinhamento da fronteira tecnológica em outros campos ou novas inovações que resolvam problemas tecnológicos. Ver Enflo, Kander e Schön (2008).

desenvolvimento econômico ou mudança estrutural para países em desenvolvimento, como o Brasil.

A noção de polos (Perroux, 1957) ou blocos de desenvolvimento (Dahmén, 1988) guarda relação com o conceito de indústria motriz (*filieres*) ou setores-chave do ponto de vista dos encadeamentos produtivos (encadeamentos para trás e para frente), desenvolvida por Rasmussen (1956), Hirschman (1958), Lenzen (2003) e Alatrisme-Contreras (2015). Esses autores buscaram analisar como determinadas indústrias ou setores eram consideradas estratégicas ou chaves em termos sua influência econômica por meio de encadeamentos. Contudo, como observado por Ghosh (1960), determinados grupos de setores tendem a formar “blocos”, com muita compra e venda dentro dos blocos, mas relativamente pouco entre os blocos. Os indicadores sintéticos de encadeamentos são importantes para apontar os *tipping points* setoriais, mas são incapazes de lançar luz sobre como esses *tipping points* dependem de outros setores, que formam “blocos” mais ou menos compactos em termos de influências internas ou externas a esses blocos.

Em particular, explorando a partição de blocos de matrizes, é possível quantificar ligações para trás e para frente entre blocos de setores ao longo das mesmas linhas que foram feitas para o caso de diferentes regiões (Miyazawa, 1966; Miller, 1969). Tal extensão já era vislumbrada por Miyazawa (1966) e aprofundada em Miyazawa (1971), que estudou “a interdependência entre os setores de serviços e bens de consumo”, particionando a matriz de insumo-produto de acordo com esse critério. Uma ideia semelhante também foi apresentada por Milana (1985), que colocou a questão de como construir subsistemas para a produção explorando os multiplicadores internos e externos da matriz de Miyazawa.

Com base nisso, os estudos separaram gradualmente os dois conceitos de efeitos de transbordamento e retroalimentação para estudar a conexão interna entre eles. Pyatt e Round (1979) apresentaram uma estrutura para medir os efeitos de transbordamento e feedback. Round (1985) estendeu o modelo de duas regiões para três regiões. Em seguida, Round (2001) decompôs a matriz inversa de Leontief em três efeitos: efeito multiplicador intrarregional, efeito transbordamento interregional e efeito feedback interregional. O primeiro é o efeito multiplicador, que é o aumento da produção total de cada indústria da região devido à interação industrial na região. O segundo é o efeito de transbordamento, que geralmente se refere ao impacto unilateral do desenvolvimento econômico de uma



região em outra região. O efeito de retroalimentação significa que quando a mudança econômica da primeira região tem impacto na última região, a mudança econômica da última região, por sua vez, tem impacto na primeira região. Se a interação em uma única região for considerada efeito multiplicador, as interações entre múltiplas regiões são mostradas em efeitos de transbordamento e feedback.

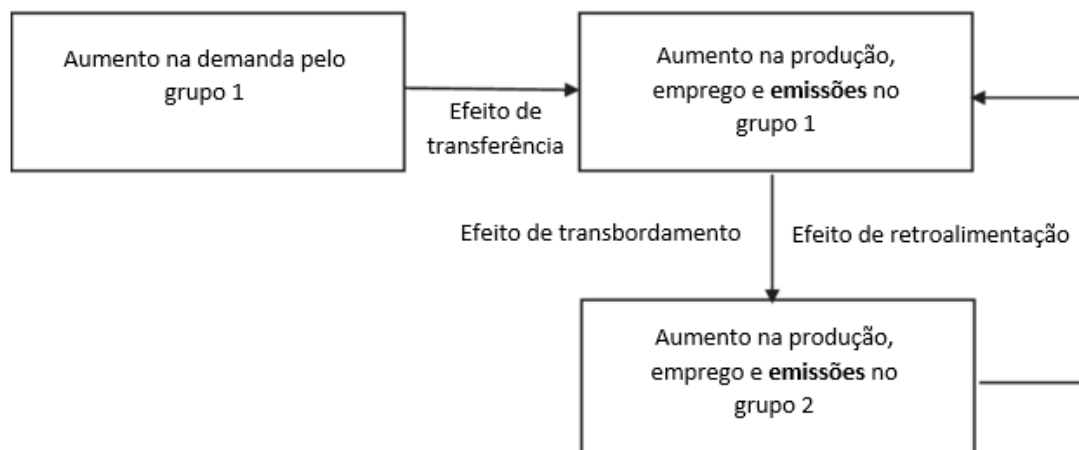
As diferentes capacidades de geração de impulsos dos blocos de setores estão relacionadas tanto com a dinâmica interna (intra-bloco), como com a dinâmica estabelecida entre os blocos por meio de efeitos de transbordamento e retroalimentação. A figura 1 abaixo apresenta um esquema simplificado dos efeitos transferência, transbordamento e retroalimentação<sup>5</sup> entre dois blocos de setores. Em um primeiro momento, dado um choque exógeno na demanda final pelos produtos do bloco A, o primeiro bloco impactado será o bloco A, de modo que os setores agrupados nesse bloco ou subsistema absorverão o impacto inicial. Em seguida, levando em consideração que o subsistema A não é uma “ilha”, estabelecendo relações de oferta e demanda com setores do bloco B, ocorrerá um efeito de transbordamento para esse último bloco. Em seguida, os setores do bloco B demandam insumos ofertados pelos setores do próprio bloco B, resultando em um efeito intra-bloco. Contudo, os efeitos podem ser ampliados, supondo que os setores agrupados no bloco B demandem insumos ofertados pelos do bloco A. Então, temos um efeito de retroalimentação entre os blocos A e B. O primeiro efeito intra-bloco pode ser denominado de efeito “ilha”, autocontido nos blocos, o segundo efeito é linear no sentido de que há um transbordamento de A para B, sem efeito de retorno, e o terceiro efeito é de retroalimentação do bloco B para o bloco A. Em outras palavras, é a partir da dinâmica ou da coevolução desses padrões de interdependências ou da coevolução (Enflo, Kander e Schön, 2008) entre os blocos que teremos a emergência de polos ou blocos de desenvolvimento<sup>6</sup>.

---

<sup>5</sup> Na literatura, o efeito de transbordamento é chamado *spillover effect* ou *open-loop* e o efeito retroalimentação é chamado de *feedback-effect* ou *closed-loop*.

<sup>6</sup> A ideia de setores difusores de tecnologia ou complexos industriais dinamizadores depende em grande medida do padrão de interação intra-bloco e extra-bloco dos setores considerados chaves na difusão das respectivas tecnologias.

**Figura 1 – Efeitos transferência, transbordamento e retroalimentação entre blocos de setores**



Os estudos sobre setores-chave e encadeamentos são frequentemente formulados inteiramente em termos monetários. Dados os problemas ambientais cada vez mais urgentes de hoje, é interessante examinar a estrutura econômica em termos dos GEE e, assim, identificar os principais blocos de setores e encadeamentos<sup>7</sup> associados a impactos ambientais acima da média na forma de esgotamento de recursos e degradação do ecossistema. Em todos os modelos multissetoriais do tipo insumo-produto, o caráter poluente de um setor pode ser determinado por referência às “compras” (de poluição) que cada setor realiza na economia e às “vendas” (de poluição) que esse setor em si faz. O problema é como descrever claramente essas transações de poluição e determinar precisamente quais setores são relevantes como compradores e vendedores<sup>8</sup>.

A desagregação em subsistemas é interessante na medida em que as decisões de política econômico-ambiental não podem ser alheias às múltiplas relações intersectoriais que ligam qualquer setor ao restante do sistema produtivo. Por outro lado, a técnica relaxa muitas das limitações da abordagem convencional de setores-chave e aumenta o potencial

---

<sup>7</sup> O *ranking* de classificação de setores e encadeamentos ambientalmente importantes deve, em geral, ser diferente daquela obtida a partir de uma análise puramente monetária.

<sup>8</sup> Uma análise global da política ambiental deve abranger as relações entre preços e quantidades e incorporar mudanças técnicas. Ambos os aspectos fogem ao escopo do presente trabalho, mas os índices obtidos podem auxiliar no desenho de uma política ambiental, pois permitem um melhor entendimento dos efeitos que as mudanças na demanda final e nos coeficientes de insumos têm sobre as emissões setoriais.

explicativo da classificação baseada nessa proposta metodológica. A principal vantagem neste sentido é que, dado o nível de desagregação que a metodologia proporciona, em termos de os encadeamentos intersetoriais e seus encadeamentos “para trás” e “para frente” com outros setores, permite destrinchar o potencial poluidor de um subsistema aqueles aspectos são desconsiderados na determinação dos setores-chave.

### **3 Metodologia e base de dados**

O presente estudo utiliza as matrizes de insumo-produto para os anos de 2000-2019 (Alves-Passoni e Freitas, 2020) e uma versão modificada da tipologia de agrupamento de setores proposta por Torracca e Kupfer (2014). Dada a inexistência de uma fonte oficial para as emissões de  $CO_2$  compatíveis com o Sistema de Contas Nacionais, foi necessária a elaboração de uma série temporal de vetores de emissões por setor para a economia brasileira. Esse procedimento foi realizado por meio de um tradutor, que compatibiliza os dados provenientes do Sistema de Estimativa de Emissões (SEEG, 2021) e as matrizes de insumo-produto (nível 42 setores) (Alvarenga Júnior, Costa e Costa, 2023).

A análise de insumo-produto é uma ferramenta amplamente usada para medir a interdependência estrutural desde as análises de Chenery e Watanabe (1956) e Hirschman (1958). A análise de insumo-produto estendida do ponto de vista ambiental permite um entendimento mais completo da relação entre a economia e os fluxos de materiais, o que é essencial para o entendimento completo dos problemas ambientais e do desenho de políticas para resolvê-los (Hoekstra, 2005). Às vezes é relevante focar em alguns setores específicos, e não analisar o impacto ambiental de todo o sistema econômico. Isso permite estudar sua relação com o meio ambiente com maior complexidade, sem perder seus vínculos com todo o sistema produtivo.

Se considerarmos um sistema de setores em que cada um produz uma mercadoria diferente, conforme definido na análise de insumo-produto, "tal sistema pode ser subdividido em tantas partes quantas forem as mercadorias em seu produto líquido, de tal forma que cada parte forme um sistema auto-substituível menor, cujo produto líquido consiste em apenas um tipo de mercadoria. Chamaremos essas partes de ‘subsistemas’”

(Sraffa, 1960). Assim, a análise de subsistema permite o estudo da estrutura de cada um dos setores envolvidos no sistema econômico, ao mesmo tempo que aumenta o poder explicativo da abordagem tradicional de análise de setores-chave, proporcionando um maior nível de desagregação das ligações entre esses setores dentro do subsistema e entre os setores do subsistema e os demais subsistemas ou blocos da economia.

A análise do subsistema da relação entre a estrutura produtiva e o meio ambiente foi proposta pela primeira vez por Alcántara (1995), que a aplicou às emissões de dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis na Espanha em 1985, por decomposição aditiva das emissões geradas para cada setor em cinco componentes: i) escala; ii) *feedback*; iii) próprio; iv) transbordamento; e v) o *spillover* do resto da economia. Decomposições aditivas alternativas foram empregadas para analisar o impacto ambiental na poluição dos recursos hídricos em Aragón, Espanha, em 1995 por Sánchez-Chóliz e Duarte (2003), as emissões de dióxido de carbono no subsistema de serviços na Espanha em 2000 por Alcántara e Padilla (2009), emissões de metano na indústria agrícola e alimentar na Catalunha, Espanha, em 2001 por Navarro e Alcántara (2010) e seis gases com efeito de estufa na Irlanda em 2005 por Llop e Tol (2012). A decomposição multiplicativa derivada dos multiplicadores de Miyazawa (1966, 1968, 1971) foi empregada por Fritz, Sonis e Hewings (1998) para analisar como o subsistema de setores não poluentes influenciou as emissões dos setores poluidores do ar na região de Chicago por meio de uma análise de decomposição estrutural entre 1975 e 2010.

A decomposição multiplicativa isola melhor as inter-relações internas do subsistema daquelas com o resto da economia do que a decomposição aditiva. Por causa disso, empregamos a decomposição multiplicativa para separar as ligações internas do subsistema de serviços de suas ligações com o resto da economia. Porém, o componente interno do subsistema de serviços merece uma análise mais detalhada para permitir um melhor entendimento das relações entre os setores dentro do subsistema. Decompomos essas relações internas por meio da decomposição aditiva, porque permite uma interpretação mais intuitiva ao considerar os setores um a um (após isolar as inter-relações internas do subsistema daquelas com o resto da economia).

A identidade do modelo de Leontief,  $\mathbf{x}' = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{y}' = \mathbf{L}\mathbf{y}'$ , denota a relação entre os níveis de produção total ( $\mathbf{x}'$ ) necessários em uma economia para manter um vetor de

coluna de demanda final ( $\mathbf{y}'$ ) por meio da matriz inversa de Leontief (ou matriz de coeficientes de requisitos diretos e indiretos por unidade de demanda final)<sup>9</sup>. A matriz  $\mathbf{A}$  é a matriz de coeficientes técnicos de Leontief, cujos elementos,  $a_{ij}$ , representam o peso de quanto o setor  $j$  compra do setor  $i$  em relação à produção total do setor  $j$ . Para isolar os efeitos dos subsistemas, este modelo pode ser reescrito de forma particionada como:

$$\begin{pmatrix} \mathbf{x}^{s'} \\ \mathbf{x}^{r'} \end{pmatrix} = \left( \begin{bmatrix} \mathbf{I}_{sxs} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{I}_{rxr} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{ss} & \mathbf{A}_{sr} \\ \mathbf{A}_{rs} & \mathbf{A}_{rr} \end{bmatrix} \right)^{-1} \begin{pmatrix} \mathbf{y}^{s'} \\ \mathbf{y}^{r'} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{L}_{ss} & \mathbf{L}_{sr} \\ \mathbf{L}_{rs} & \mathbf{L}_{rr} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{y}^{s'} \\ \mathbf{y}^{r'} \end{pmatrix} \quad (1).$$

Seguindo Pyatt e Round (1979), Round (1985, 2001), Sonis e Hewings (1993) e Dietzenbacher (2002), a matriz inversa de Leontief,  $\mathbf{L}$ , pode ser decomposta da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} \mathbf{x}^{s'} \\ \mathbf{x}^{r'} \end{pmatrix} &= \begin{bmatrix} \mathbf{F}_s & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{F}_r \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \mathbf{I}_{sxs} & \mathbf{S}_{sr} \\ \mathbf{S}_{rs} & \mathbf{I}_{rxr} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \mathbf{M}_s & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{M}_r \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{y}^{s'} \\ \mathbf{y}^{r'} \end{pmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \mathbf{F}_s \mathbf{M}_s & \mathbf{F}_s \mathbf{S}_{sr} \mathbf{M}_r \\ \mathbf{F}_r \mathbf{S}_{rs} \mathbf{M}_s & \mathbf{F}_r \mathbf{M}_r \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{y}^{s'} \\ \mathbf{y}^{r'} \end{pmatrix}^{10} \quad (2). \end{aligned}$$

Onde:

$$\begin{aligned} \mathbf{M}_s &= (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{ss})^{-1} \text{ e } \mathbf{M}_r = (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{rr})^{-1} \\ \mathbf{S}_{sr} &= (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{ss})^{-1} \mathbf{A}_{sr} \text{ e } \mathbf{S}_{rs} = (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{rr})^{-1} \mathbf{A}_{rs} \\ \mathbf{F}_s &= [\mathbf{I} - (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{ss})^{-1} \mathbf{A}_{sr} (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{rr})^{-1} \mathbf{A}_{rs}]^{-1} = [\mathbf{I} - \mathbf{S}_{sr} \mathbf{S}_{rs}]^{-1} \\ \mathbf{F}_r &= [\mathbf{I} - (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{rr})^{-1} \mathbf{A}_{rs} (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{ss})^{-1} \mathbf{A}_{sr}]^{-1} = [\mathbf{I} - \mathbf{S}_{rs} \mathbf{S}_{sr}]^{-1} \end{aligned}$$

A produção necessária para obter a produção total do subsistema  $s$  pode ser isolada assumindo  $\mathbf{y}^r = \mathbf{0}$ , tal que:

---

<sup>9</sup> Neste artigo, os elementos em **negrito** denotam vetores e matrizes (minúsculas e maiúsculas, respectivamente), enquanto os escalares são expressos em texto simples. Por sua vez, o símbolo  $\hat{\phantom{x}}$  sobre um elemento vetorial se refere a uma matriz diagonal composta do vetor especificado.

<sup>10</sup> É possível pensarmos os blocos  $r$  e  $s$  como duas regiões de um país em uma matriz multirregional, possuindo uma relação ainda próxima com a ideia de blocos de desenvolvimento. Inicialmente, essa decomposição foi realizada para matrizes de contabilidade social e para matrizes multirregionais. Ver Pyatt e Round (1979) e Round (1985, 2001).

$$\begin{pmatrix} \mathbf{x}_s^{s'} \\ \mathbf{x}_s^{r'} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{L}_{ss} & \mathbf{L}_{sr} \\ \mathbf{L}_{rs} & \mathbf{L}_{rr} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{y}^{s'} \\ \mathbf{0} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{F}_s \mathbf{M}_s & \mathbf{F}_s \mathbf{S}_{sr} \mathbf{M}_r \\ \mathbf{F}_r \mathbf{S}_{rs} \mathbf{M}_s & \mathbf{F}_r \mathbf{M}_r \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{y}^{s'} \\ \mathbf{0} \end{pmatrix} \quad (3).$$

Onde  $\mathbf{x}_s^s$  é a produção do subsistema  $s$  para satisfazer sua demanda final e  $\mathbf{x}_s^r$  é a produção do resto da economia a ser empregada como insumo pelo subsistema  $s$ . Pré-multiplicando (3) por  $\mathbf{u}$ , um vetor linha de soma, obtém-se a produção total da economia necessária para a demanda final do subsistema  $s$ :

$$\mathbf{u}_{1xn} \begin{pmatrix} \mathbf{x}_s^{s'} \\ \mathbf{x}_s^{r'} \end{pmatrix} = \mathbf{u}_{1xs} \mathbf{L}_{ss} \mathbf{y}^{s'} + \mathbf{u}_{1xr} \mathbf{L}_{rs} \mathbf{y}^{s'} = \mathbf{u}_{1xs} \mathbf{F}_s \mathbf{M}_s \mathbf{y}^{s'} + \mathbf{u}_{1xr} \mathbf{F}_r \mathbf{S}_{rs} \mathbf{M}_s \mathbf{y}^{s'} \quad (4).$$

onde o primeiro termo representa tanto as transações internas do subsistema  $s$  para satisfazer sua demanda final quanto um componente de *feedback*, que responde pelas vendas do subsistema  $s$  para o resto da economia que são empregados para fornecer insumos aos setores do subsistema  $s$ . O segundo termo representa as vendas do resto da economia empregadas pelo subsistema  $s$  como insumos para satisfazer sua demanda final. O primeiro componente pode ser decomposto, adicionando e subtraindo  $\mathbf{M}_s \mathbf{y}^{s'}$ , de modo que:

$$\begin{aligned} \mathbf{u}_{1xn} \begin{pmatrix} \mathbf{x}_s^{s'} \\ \mathbf{x}_s^{r'} \end{pmatrix} &= \mathbf{u}_{1xs} \mathbf{F}_s \mathbf{M}_s \mathbf{y}^{s'} + \mathbf{u}_{1xs} \mathbf{M}_s \mathbf{y}^{s'} - \mathbf{u}_{1xs} \mathbf{M}_s \mathbf{y}^{s'} + \mathbf{u}_{1xr} \mathbf{F}_r \mathbf{S}_{rs} \mathbf{M}_s \mathbf{y}^{s'} \\ &= \underbrace{\mathbf{u}_{1xs} \mathbf{M}_s \mathbf{y}^{s'}}_{\text{Componente interno}} + \underbrace{\mathbf{u}_{1xs} [\mathbf{F}_s - \mathbf{I}] \mathbf{M}_s \mathbf{y}^{s'}}_{\text{Componente de feedback}} \\ &\quad + \underbrace{\mathbf{u}_{1xr} \mathbf{F}_r \mathbf{S}_{rs} \mathbf{M}_s \mathbf{y}^{s'}}_{\text{Componente de spillover}} \quad (5). \end{aligned}$$

A expressão acima decompõe a produção total necessária para atender à demanda final total do subsistema  $s$ .

O modelo acima pode ser facilmente estendido a qualquer dimensão ambiental para levar em consideração o impacto ambiental. Definimos  $\mathbf{c}'_{nx1} = \begin{pmatrix} c_1 \\ \vdots \\ c_n \end{pmatrix}$ , um vetor de coeficientes

que relaciona cada setor com uma dimensão ambiental particular (seja o uso de recursos ou poluição), de modo que  $\mathbf{c} = \hat{\mathbf{x}}^{-1} \mathbf{e}$ , onde  $\hat{\mathbf{x}}^{-1}$  é o vetor diagonalizado da produção e  $\mathbf{e}$  é o uso total de recursos ou geração de poluição. Doravante,  $\mathbf{c}$  é definido como os coeficientes de emissão direta por unidade de produção. Desta forma, o coeficiente de emissões diretas do setor  $j$  pode ser definido como  $c_j = \frac{e_j}{x_j}$ , onde  $e_j$  indica as emissões diretas do setor  $j$ . O vetor de coeficientes de emissões pode ser expresso de forma

particionada, como antes, de forma que  $\mathbf{c}'_{nx1} = \begin{pmatrix} \mathbf{c}^{s'} \\ \mathbf{c}^{r'} \end{pmatrix}$ , onde  $\mathbf{c}^s$  são os coeficientes de emissão direta dos setores do subsistema  $s$ . Pré-multiplicando (1) por uma matriz diagonal construída a partir do vetor  $\mathbf{c}$ , o modelo pode ser transformado como:

$$\begin{aligned}
\mathbf{e}' &= \hat{\mathbf{c}}\mathbf{x} = \hat{\mathbf{c}}\mathbf{L}\mathbf{y}' \\
&= \begin{pmatrix} \hat{\mathbf{c}}^s & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \hat{\mathbf{c}}^r \end{pmatrix} \begin{bmatrix} L_{ss} & L_{sr} \\ L_{rs} & L_{rr} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{y}^{s'} \\ \mathbf{y}^{r'} \end{pmatrix} \\
&= \begin{pmatrix} \hat{\mathbf{c}}^s & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \hat{\mathbf{c}}^r \end{pmatrix} \begin{bmatrix} F_s & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & F_r \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I & S_{sr} \\ S_{rs} & I \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} M_s & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & M_r \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{y}^{s'} \\ \mathbf{y}^{r'} \end{pmatrix} \\
&= \begin{pmatrix} \hat{\mathbf{c}}^s & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \hat{\mathbf{c}}^r \end{pmatrix} \begin{bmatrix} F_s M_s & F_s S_{sr} M_r \\ F_r S_{rs} M_s & F_r M_r \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{y}^{s'} \\ \mathbf{0} \end{pmatrix} \quad (6).
\end{aligned}$$

Onde  $\mathbf{e}'_{nx1}$  é um vetor coluna, cujos elementos são  $e_j \forall j = 1, \dots, n$ . Novamente, para analisar o papel do subsistema  $s$  nas emissões totais,  $\mathbf{y}^r = \mathbf{0}$  é assumido, de modo que:

$$\begin{pmatrix} \mathbf{e}_s^{s'} \\ \mathbf{e}_s^{r'} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{\mathbf{c}}^s & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \hat{\mathbf{c}}^r \end{pmatrix} \begin{bmatrix} F_s M_s & F_s S_{sr} M_r \\ F_r S_{rs} M_s & F_r M_r \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{y}^{s'} \\ \mathbf{0} \end{pmatrix} \quad (7).$$

Onde  $\mathbf{e}_s^{s'}$  são as emissões provenientes dos processos de produção do subsistema  $s$  para satisfazer sua própria demanda final e  $\mathbf{e}_s^{r'}$  é a poluição do resto dos setores durante seus processos de produção para fornecer ao subsistema  $s$  os insumos de que necessita para satisfazer sua demanda final. Semelhante à equação (5), pela pré-multiplicação de (7) por um vetor unitário  $\mathbf{u}_{1xn}$ , obtemos as emissões totais do subsistema  $s$  ( $E^s$ ):

$$\begin{aligned}
E^s &= \hat{\mathbf{c}}^s F_s M_s \mathbf{y}^{s'} + \hat{\mathbf{c}}^r F_r S_{rs} M_s \mathbf{y}^{s'} \\
&= \underbrace{\mathbf{u}_{1xs} \hat{\mathbf{c}}^s M_s \mathbf{y}^{s'}}_{\text{Componente interno}} + \underbrace{\mathbf{u}_{1xs} \hat{\mathbf{c}}^s [F_s - I] M_s \mathbf{y}^{s'}}_{\text{Componente de feedback}} \\
&\quad + \underbrace{\mathbf{u}_{1xr} \hat{\mathbf{c}}^r F_r S_{rs} M_s \mathbf{y}^{s'}}_{\text{Componente de spillover}} \quad (8).
\end{aligned}$$

O significado de cada coluna na tabela de coeficientes da matriz de multiplicadores ou de Leontief,  $\hat{\mathbf{c}}(I - A)^{-1}$ , indica as emissões requeridas direta e indiretamente em cada setor  $i$ , quando a demanda final para o setor  $j$  aumenta em uma unidade. A soma total da coluna indica as repercussões nas emissões de todos os setores, resultado da variação em uma unidade na demanda final. A soma vertical de toda coluna para os setores  $j$  da matriz inversa é dividida pelo valor médio da soma por coluna dessa matriz inversa. Esta razão

apresenta as magnitudes relativas das repercussões nas emissões, isto é, quais setores institucionais da demanda final podem exercer as maiores repercussões na produção e nas emissões em todo o conjunto de setores. Esta razão é chamada de índice do poder de dispersão das emissões e pode ser calculado como segue:

$$IPD_j = \frac{\sum_i l_{ij}}{\bar{L}} \quad (9)$$

Onde  $\bar{L} = \frac{1}{n} \sum_j l_{ij} = \frac{1}{n} \sum_i \sum_j l_{ij}$  é o valor médio da soma por coluna da matriz inversa de coeficientes técnicos.

Já o significado para cada linha na matriz inversa mostra as emissões requeridas direta e indiretamente em cada setor  $i$ , quando a demanda final para o setor  $j$  aumenta em uma unidade. A razão produzida por dividir a soma horizontal total pelo valor médio da soma de todas as linhas indicará as influências relativas de uma unidade da demanda final no setor  $i$ . Este índice é chamado de índice da sensibilidade de dispersão das emissões, o qual pode ser calculado da seguinte forma:

$$ISD_i = \frac{\sum_j l_{ij}}{\bar{L}} \quad (10).$$

Onde  $\bar{L} = \frac{1}{n} \sum_i l_{ij} = \frac{1}{n} \sum_i \sum_j l_{ij}$  é o valor médio da soma por linha da matriz inversa de coeficientes técnicos.

Com base nos índices  $IPD$  e  $ISD$ , podemos construir um indicador que mede a importância dos grupos de setores na geração dos efeitos intrasetoriais, de *spillover* e de *feedback*. Tendo em vista que a matriz  $M$ , a inversa de Leontief, é a matriz de multiplicadores de emissões, a decomposição que realizamos permite que calculemos o peso de cada setor nos índices  $IPD$  e  $ISD$ . Em termos formais, temos que:

$$\frac{IPD_i^{M_1}}{IPD_i^M} = \frac{\sum_i^n IPD_i}{n} = IPD \text{ médio}$$

Em seguida, dividimos o  $IPD$  de cada setor em relação ao  $IPD$  médio, de modo que:



$$\frac{IPD_i^{M_1}}{IPD \text{ médio}} = \text{peso do IPD de cada setor em relação ao IPD médio setorial}^{11}.$$

## 4 Análise dos resultados

A Tabela 1 mostra que a intensidade das emissões das exportações aumentou após 2008. De fato, o padrão de comércio brasileiro mudou para os grupos industriais mais intensivos em carbono. Este resultado suporta a crescente especialização comercial do país em indústrias intensivas em recursos naturais (que muitas vezes têm intensidades energéticas mais elevadas) no período em análise. Além disso, a estrutura econômica brasileira parece caminhar na direção oposta ao que seria esperado na transição para uma economia de baixo carbono, notadamente após 2008. Os principais setores que apresentaram aumentos na intensidade de emissões foram eletricidade, água e gás, indústria inovadora e indústria tradicional. As commodities agrícolas processadas permaneceram praticamente as mesmas, enquanto transporte, agricultura e outros serviços diminuíram a intensidade das emissões.

**Tabela 1 – Coeficientes de emissões por grupos de setores (em  $TCO_2eq.$  per million R\$)<sup>12</sup>**

<b>Grupos industriais</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
Agropecuária	2.204,9	2.151,9	2.018,6	1.753,8	1.836,3
Geração de eletricidade, gás e água	624,7	603,3	615,0	773,2	646,2
Commodities industriais	286,9	214,6	232,0	259,0	229,5
Indústria inovativa	10,4	11,7	16,4	22,2	25,1
Outros serviços	1,7	1,4	0,8	0,7	0,7
Commodities agrícolas processadas	72,1	64,8	63,0	72,7	72,4
Indústria tradicional	27,6	28,1	34,8	35,1	38,4
Transport, Storage and Mail	627,1	582,0	549,1	603,2	551,3

Fonte: elaboração própria

<sup>11</sup> Esse mesmo procedimento foi realizado para o indicador *ISD* e para as demais matrizes ( $M_2$  e  $M_3$ ).

<sup>12</sup> Por questões expositivas, a classificação apresentada na tabela separa a agropecuária das commodities agrícolas e industriais e separa transporte e geração de eletricidade dos demais serviços. O objetivo é realçar como a dinâmica das emissões, em termos agregadas, é denominada pela agropecuária, mas, ao mesmo tempo, como a decomposição proposta neste estudo lança luz de forma mais minuciosa sobre esse padrão de emissões.

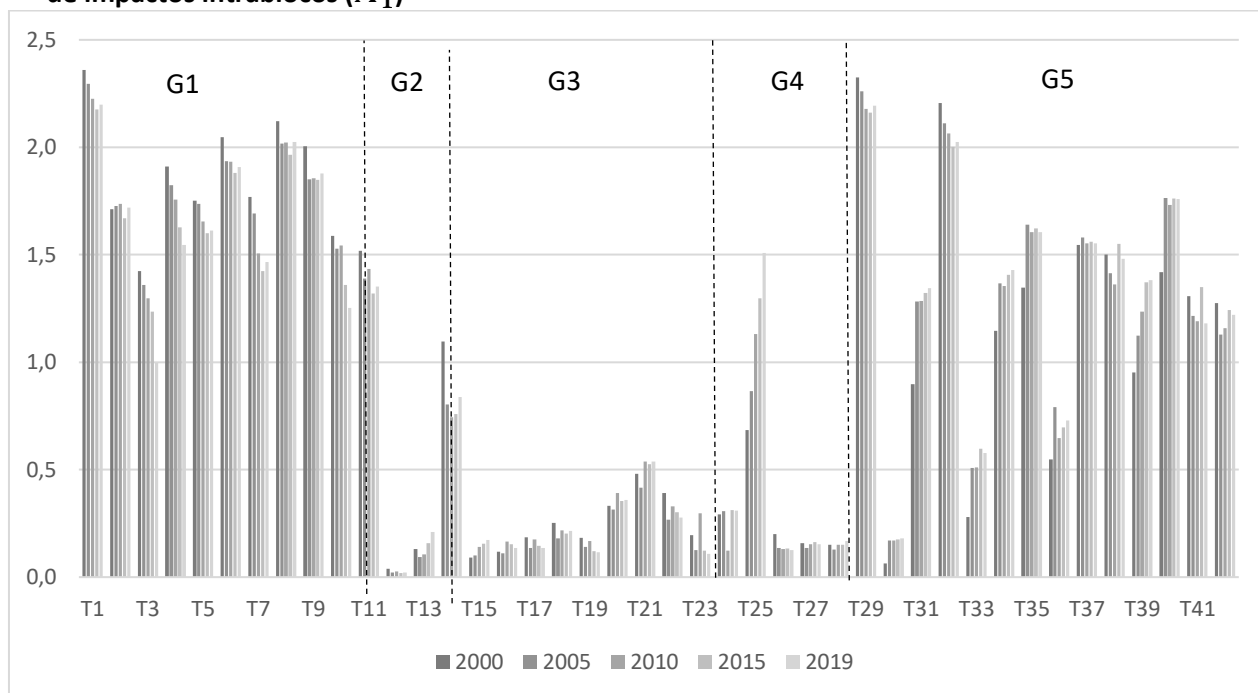
A análise da tabela 1 revela o padrão de emissões a partir de um índice de eficiência de emissões, mas desconsidera os efeitos dentro e entre os grupos de setores. A decomposição da inversa de Leontief (ou matriz de multiplicadores de emissões) permite que calculemos versões ambientais para os encadeamentos para trás e para frente dos três efeitos: transferência (intrablocos), *spillover* e *feedback*.

O gráfico 1 mostra os encadeamentos para trás que ocorrem apenas dentro dos cinco blocos de setores entre 2000 e 2019<sup>13</sup>. Como podemos observar, os maiores efeitos ocorrem no início e no final das cadeias produtivas, isto é, dentro da agropecuária e commodities industriais e nos setores de serviços. Nesses dois grupos, os principais setores propagadores de emissões intrablocos são agropecuária (G1), Produção e distribuição de eletricidade gás água esgoto e limpeza urbana (G5) e Transporte armazenagem e correio (G5). Já nos grupos da indústria de transformação (G3 e G4), o principal setor propagador de emissões intrablocos é eletrodoméstico e material eletrônico (G4), apresentando um importante crescimento ao longo de todo o período. Levando em consideração que os grupos G1 e G5 possuem menores índices de encadeamentos para trás (em termos dos multiplicadores clássicos de encadeamentos), uma vez que estão localizados no início e no fim das cadeias produtivas, é interessante observar como essa menor capacidade de encadeamentos para trás, vis-à-vis os setores G3 e G4, tende a produzir um padrão de emissão dentro dos blocos.

---

<sup>13</sup> Como esperado, o efeito de transferência é predominante em todo o período, seguido pelo efeito de transbordamento e, por último, pelo efeito de retroalimentação (Ver Apêndice 2).

**Gráfico 1 - Peso dos setores em relação ao peso médio setorial (*backward linkages*) - Matriz de impactos intrablocos ( $M_1$ )**



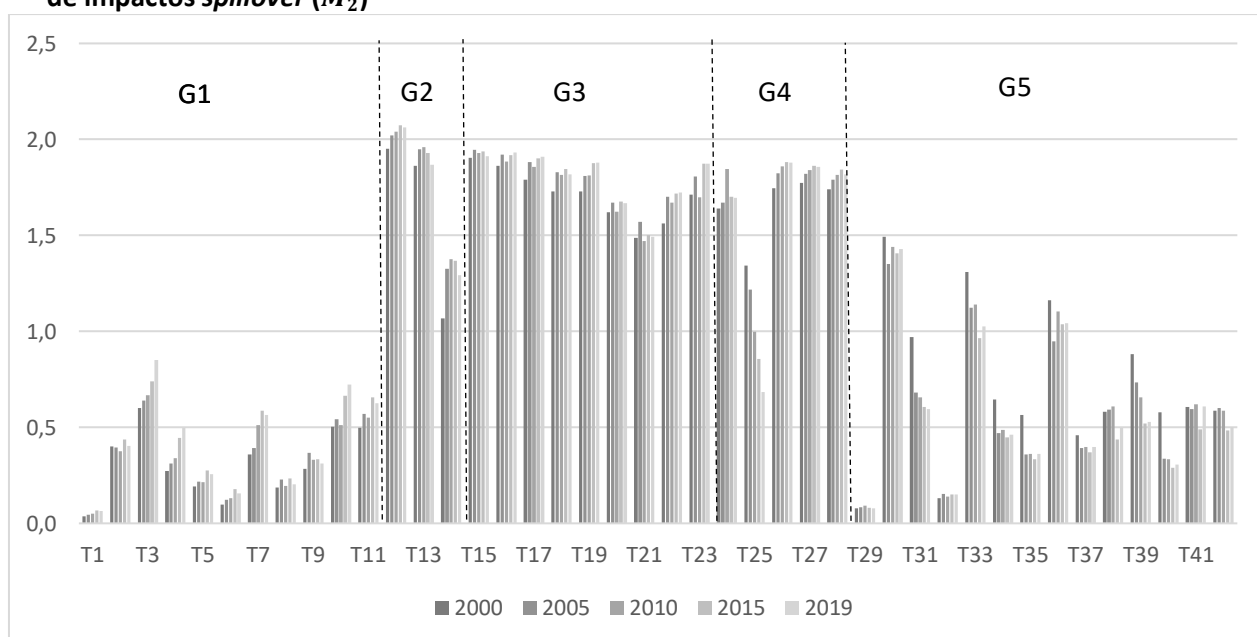
Fonte: elaboração própria

O gráfico 2 apresenta os encadeamentos para trás do ponto de vista dos efeitos de *spillover* das emissões ou de transbordamento aos demais setores<sup>14</sup>. Os resultados mostram como os setores industriais (G3 e G4) e de commodities industriais (G2) possuem os maiores efeitos de transbordamento de emissões para trás das cadeias produtivas. Esse é um resultado importante na medida em que mostra como esses blocos de setores, com cadeias produtivas mais complexas do ponto de vista de seus encadeamentos, propagam suas emissões aos demais blocos de setores. Os blocos de setores G1 e G5, posicionados no início e fim das cadeias produtivas, respectivamente, possuem uma menor capacidade de transbordar emissões aos demais blocos, embora chame a atenção as emissões geradas pelos encadeamentos para trás da cadeia produtiva do setor de construção civil (T30).

<sup>14</sup> Esse é um efeito linear de propagação das emissões, isto é, as emissões do setor de automóveis, por exemplo, que são propagadas direta e indiretamente aos demais setores, mas não retornam ao setor de automóveis.

Os blocos de setores G3 e G4 são considerados estratégicos ou chaves para o desenvolvimento econômico do país, dada a maior capacidade de demandar insumos dos demais blocos de setores por meio de encadeamentos diretos e indiretos. Como mostrado na tabela 1, a análise isolada dos coeficientes de emissões ou de multiplicadores simples de emissões pode ser enganosa por desconsiderar o peso do comprimento das cadeias produtivas dos nas emissões dos blocos de setores. O esverdeamento das cadeias produtivas e políticas setoriais de descarbonização devem levar em consideração as interdependências entre os blocos de setores e não apenas índices sintéticos setoriais. Isso significa que os setores industriais podem ser considerados altamente propagadores de emissões de GEE ao mesmo tempo que podem ser difusores de progresso técnico, como nos casos do complexo da saúde, farmoquímico ou de automóveis e aeronaves. O padrão de interdependência entre os blocos de setores é um fator determinante tanto para a dinâmica econômico, como para o padrão de emissões gerados pela interação entre blocos mais sujos e mais limpos de um ponto de vista da descarbonização.

**Gráfico 2 - Peso dos setores em relação ao peso médio setorial (*backward linkages*) - Matriz de impactos *spillover* ( $M_2$ )**

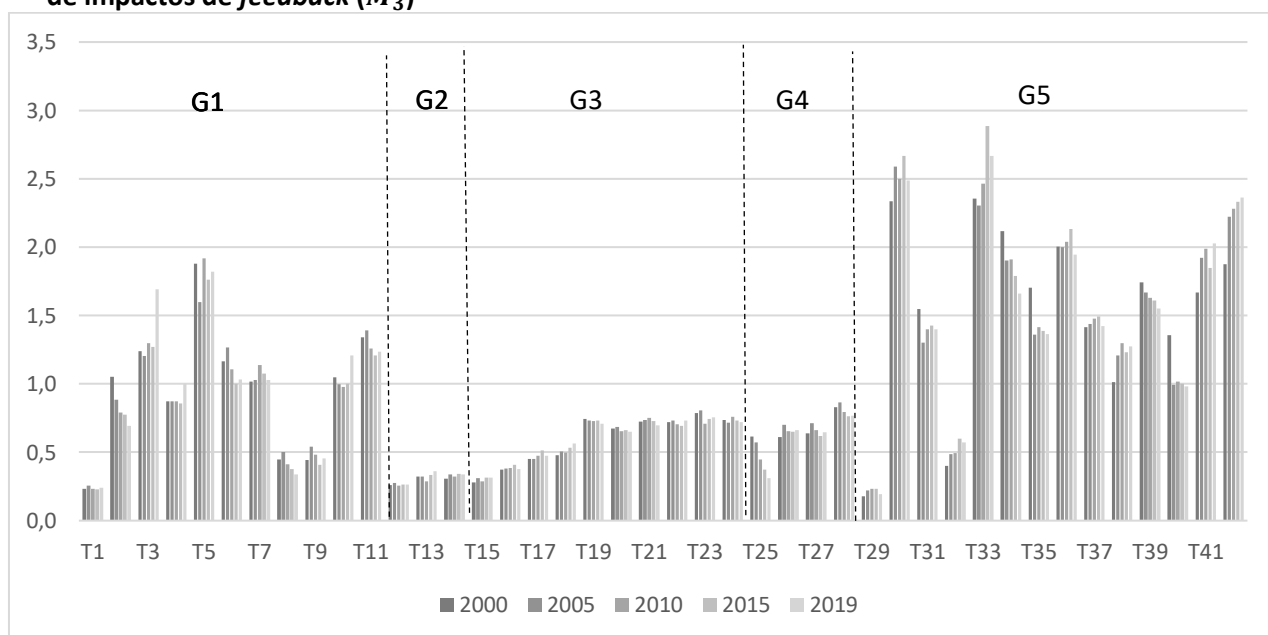


Fonte: elaboração própria

A análise do gráfico 3 revela como os efeitos de retroalimentação, em termos de encadeamentos para trás, estão concentrados nos blocos de setores do grupo 5 (serviços,

geração de eletricidade, gás e água e transporte) e em menor medida do grupo 1 (agropecuária e commodities agrícolas). Os principais setores que provocam os maiores efeitos de retroalimentação são construção civil e os setores de serviços. Os setores de geração de eletricidade e transporte apresentam baixa capacidade de provocarem efeitos de retroalimentação em termos de emissões. Do ponto de vista dos grupos industriais, os resultados mostram que esses blocos de setores contribuem pouco para a retroalimentação das emissões. Em outras palavras, as emissões dos setores 1 e 2 entram indiretamente nos blocos 1 e 2, porque é obrigado a produzir insumos intermediários próprios, que também são demandados pelos subsistemas 3, 4 e 5, a fim de produzir insumos para atender a demanda final direcionada aos subsistemas 1 e 2.

**Gráfico 3 - Peso dos setores em relação ao peso médio setorial (*backward linkages*) - Matriz de impactos de *feedback* ( $M_3$ )**



Fonte: elaboração própria

Em resumo, a decomposição dos encadeamentos para trás das emissões sugere que os blocos de setores localizados no início e no final das cadeias produtivas são importantes

para que as emissões circulem ao longo de toda a estrutura produtiva<sup>1516</sup>. Contudo, de modo geral, os efeitos em termos de emissões permanecem concentrados dentro dos próprios grupos de setores. Já os blocos de setores das indústrias tradicional e inovativa são importantes por difundirem linearmente as emissões, de modo que contribuem mais para a difusão das emissões extrabloco. Assim, os blocos de setores assumem diferentes papéis nas emissões de GEE no Brasil, indicando que as recomendações de políticas necessitam levar em consideração os padrões de interdependência entre os blocos de setores.

Do ponto de vista da decomposição das emissões a partir dos encadeamentos para frente<sup>17</sup>, a matriz de impactos intrabloco revela um padrão distinto do encontrado para os encadeamentos para trás. De modo geral, os efeitos intrabloco das emissões são maiores no *forward linkages* do que no *backward linkages*. Isso significa que os desvios setoriais em relação à média das emissões de toda a economia pelo *forward linkages* são maiores do que o mesmo cálculo pela ótica dos *backward linkages*. Em outras palavras, as emissões intrabloco dependem em maior medida dos efeitos das cadeias produtivas

---

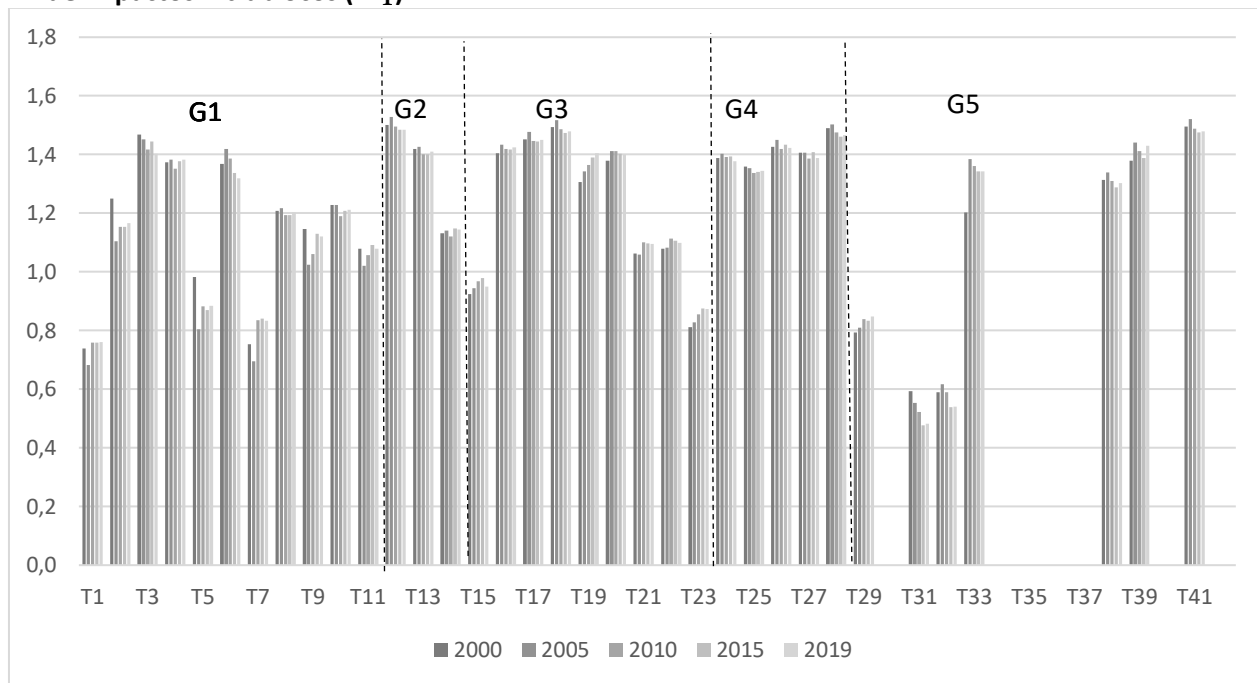
<sup>15</sup> Em termos de valores médios, os efeitos de feedback são menores do que os efeitos de transferência ou de transbordamento. A maior parte dos insumos intermediários fornecidos por cada bloco é utilizada para sua própria produção, enquanto uma parte relativamente pequena desses intermediários é fornecida para outros blocos, portanto os multiplicadores intrabloco são maiores do que os multiplicadores de transbordamento. E os efeitos de feedback são as respostas aos efeitos de transbordamento, portanto, seus impactos decaem ainda mais.

<sup>16</sup> É interessante notar que os blocos G1 e G5 são caracterizados por setores com baixos efeitos de encadeamentos para trás de um ponto de vista econômico, mas possuem importância na análise da retroalimentação das emissões. Os setores do bloco G5, por exemplo, são dependentes de matérias-primas, insumos, máquinas e equipamentos de todos os demais blocos de setores, de modo que essa característica possibilita uma maior circularidade das emissões em toda a estrutura produtiva.

<sup>17</sup> Os valores estão zerados para os setores de Construção civil, Comércio Transporte armazenagem e correio, Serviços de alojamento e alimentação, Serviços de informação Intermediação financeira seguros e previdência complementar e serviços relacionados, Atividades imobiliárias e alugueis, Serviços prestados às empresas e às famílias e serviços de manutenção, Administração pública, defesa e seguridade social, Educação pública, Educação privada, Saúde pública e Saúde privada. Isso ocorre devido a inexistência na base do SEEG de emissões para esse conjunto de setores, impossibilitando a construção de vetores ambientais.

pelo lado da oferta do que pelo lado da demanda. As condições de oferta são determinantes para o padrão de emissão verificado no interior de todos os blocos.

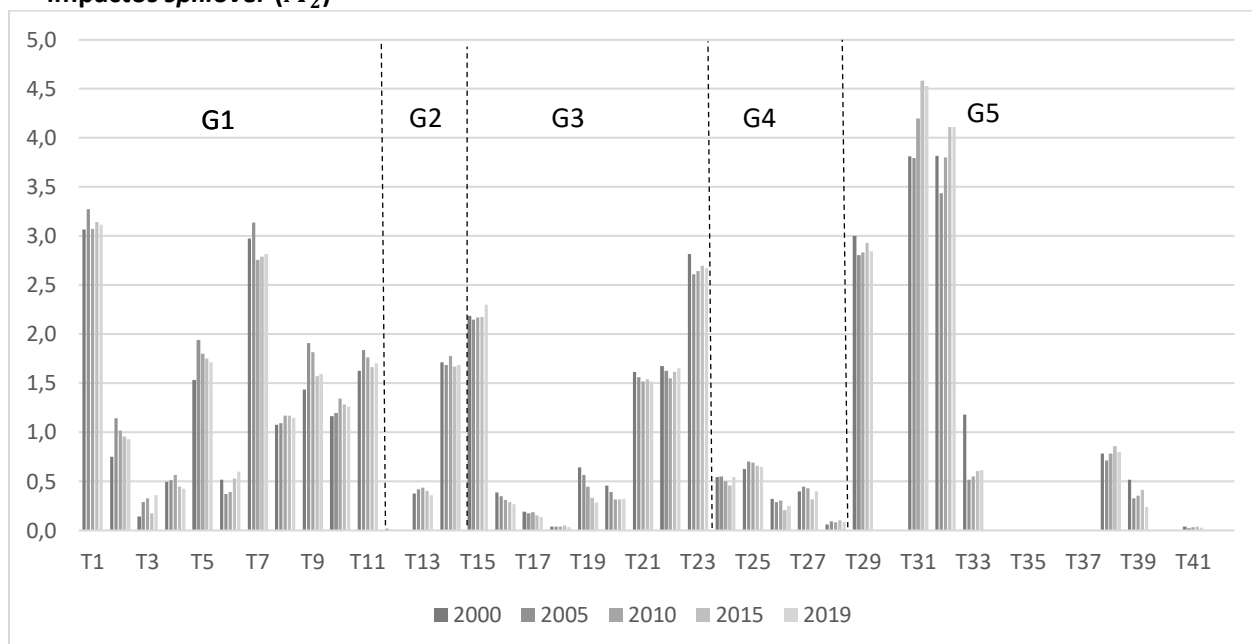
**Gráfico 4 - Peso dos setores em relação ao peso médio setorial do *forward linkages* - Matriz de impactos intrablocos ( $M_1$ )**



Fonte: elaboração própria

A análise dos efeitos de transbordamentos das emissões (ou efeitos lineares) pelos encadeamentos para frente revela que setores localizados em diferentes subsistemas (ou blocos) são importantes como fornecedores de emissões (Gráfico 5). Os principais setores difusores de emissões comércio, transporte, agropecuária, produção e distribuição de eletricidade gás água esgoto e limpeza urbana e fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros. Esses são setores localizados nos blocos G1 e G2. Do ponto de vista dos blocos de setores G3 e G4, alimentos e bebidas e máquinas e equipamentos e móveis e produtos das indústrias diversas foram os setores mais importantes em termos de emissões geradas pelos encadeamentos para frente. Diferentemente do verificado nas emissões geradas pelos encadeamentos para trás, o bloco G4 (setores inovativos) apresentou baixa capacidade de difundir emissões aos demais blocos de setores.

**Gráfico 5 - Peso dos setores em relação ao peso médio setorial do *forward linkages*- Matriz de impactos *spillover* ( $M_2$ )**



Fonte: elaboração própria

Os resultados sugerem que os formuladores de políticas, em suas estratégias de transição para uma economia de baixo carbono, devem considerar os blocos G1 e G5 como estratégicos em termos de descarbonização. Os setores da agropecuária, transporte e geração de eletricidade, como mostrado na tabela 1, são os principais vetores de emissões da economia brasileira, principalmente pelo lado da oferta. Os setores considerados inovativos e difusores de progresso técnico (G4)<sup>18</sup> possuem baixa capacidade de difundirem emissões aos demais blocos de setores.

Por fim, a análise dos efeitos de retroalimentação pelos encadeamentos para frente mostra uma predominância do setor de refino de petróleo e coquearias (G1), que aumentou continuamente sua capacidade de retroalimentar as emissões pelo lado da oferta. De forma similar, o setor de extração de petróleo e gás, inclusive as atividades de apoio (G1) também aumentou sua capacidade de retroalimentar suas emissões na estrutura produtiva.

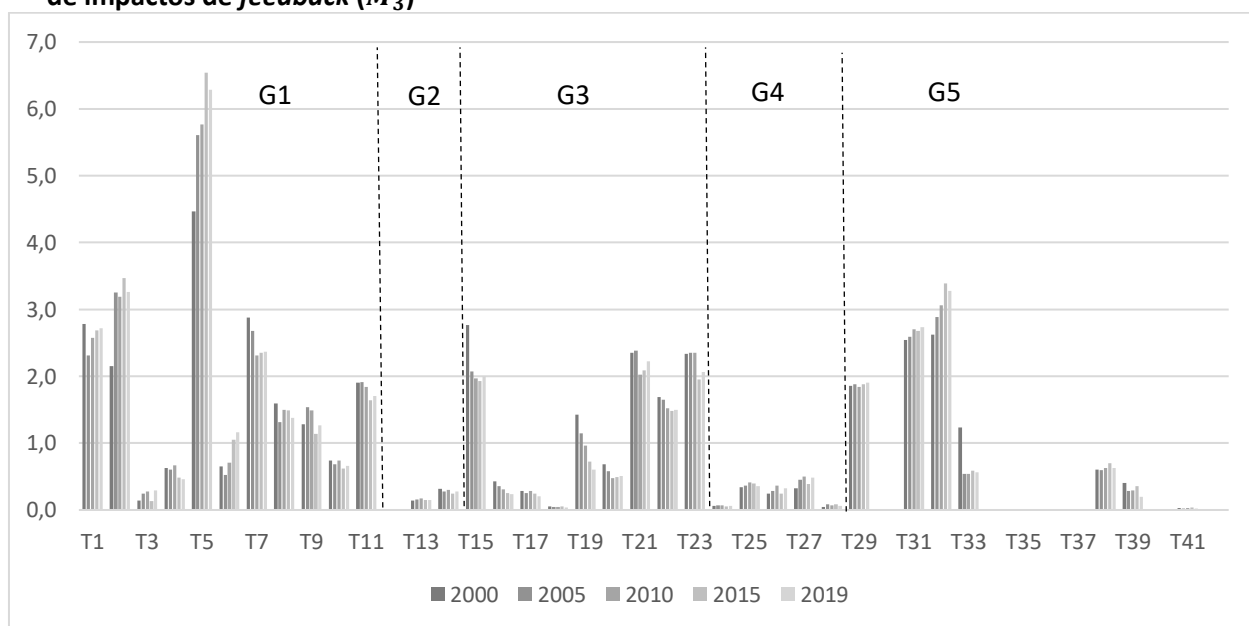
<sup>18</sup> Ver Nassif, Teixeira e Rocha (2015), Kupfer e Tigre (2004), Ferraz, Kupfer e Haguneauer (1995) e Silva e Laplane (1994).



Outro setor que apresentou importante crescimento foi o de transporte, armazenagem e correio (G5). A agropecuária (G1) apresentou estabilidade ao longo de o período, mas essa estabilidade ocorreu em um patamar muito maior do que a maioria dos blocos da economia.

Do ponto dos blocos industriais G3 e G4, podemos observar que os efeitos de retroalimentação estão concentrados no bloco dos setores tradicionais, com os setores inovativos apresentando baixa capacidade de geração de efeitos de retroalimentação de suas emissões. É interessante observar que os setores de fabricação de defensivos, desinfetantes, tintas e químicos diversos e artigos de borracha e plástico, ambos localizados no bloco G3, foram os principais setores industriais na retroalimentação das emissões em todo o sistema produtivo.

**Gráfico 6 - Peso dos setores em relação ao peso médio setorial do *forward linkages* - Matriz de impactos de *feedback* ( $M_3$ )**



Fonte: elaboração própria

Em resumo, pela ótica dos encadeamentos para frente, os efeitos intrablocos foram predominantes relativamente aos efeitos de transbordamento e de retroalimentação. As emissões pela ótica da oferta tenderam a estar mais concentradas no interior dos blocos do que a análise das emissões pela ótica da demanda. Pela ótica da oferta, as emissões

dependem fundamentalmente de uma estratégia de descarbonização do complexo petroquímico (e derivados) e dos setores de geração de eletricidade, transporte, comércio e agropecuária. Em outras palavras, as emissões pelo lado da oferta dependem do padrão de interdependência entre os blocos G1 e G5. Uma estratégia de descarbonização ou de criação de blocos de desenvolvimento de setores com menores impactos nas emissões depende de uma análise conjunta do padrão de interação entre os dois blocos de setores.

## 5 Considerações finais

O aquecimento global é um desafio ambiental enfrentado por toda a humanidade. Como dos maiores emissores de GEE, o Brasil declarou em várias ocasiões e por meio de uma série de promessas seu compromisso de desempenhar um papel fundamental na mitigação das mudanças climáticas. Mais notavelmente, o Brasil anunciou na Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, realizada em Paris em novembro de 2015, sua intenção de atingir o pico de emissões de dióxido de carbono até 2030. O objetivo do estudo foi analisar como esses compromissos assumidos pelos governos brasileiros devem levar em consideração os padrões de interdependência entre diferentes blocos (ou subsistemas) de setores.

O conceito de blocos de desenvolvimento (Perroux, 1957; Dahmén, 1988), aplicado na dimensão espacial (regional), pode ser reinterpretado à luz da noção de blocos de setores (Round, 1985) ou subsistemas (Sraffa, 1960). A utilização das matrizes de insumo-produto entre 2000 e 2019 permite subdividir ou particionar a estrutura produtiva em blocos de setores, agrupados de acordo com diferentes classificações (padrões de concorrência ou intensidade tecnológica, por exemplo). A análise por blocos de setores possibilita decompor os efeitos multiplicadores e de encadeamentos para trás e para frente em efeitos de transferência, de transbordamento e de retroalimentação. Essa análise permite a construção de indicadores de encadeamentos de um ponto de vista ambiental, superando algumas limitações dos indicadores clássicos de encadeamentos. Até o ponto em que sabemos, esse é o primeiro estudo a utilizar essa metodologia para analisar os padrões setoriais de emissões da economia brasileira.

Pela ótica da demanda (*backward linkages*), os principais efeitos estiveram concentrados intrablocos e extrablocos (transbordamento), que apresentaram valores muito próximos, com uma menor participação dos efeitos de retroalimentação. Os blocos industriais (G3 e G4, embora apresentem baixos coeficientes de emissões comparativamente à agropecuária, eletricidade e transporte, mostraram uma elevada capacidade de geração de emissões por meio de seus efeitos de transbordamentos. Isso significa que o comprimento das cadeias desses blocos de setores e o padrão de demanda resultam em uma criação de trajetórias lineares de emissões maiores do que os demais blocos de setores. Em outras palavras, as emissões geradas pelos efeitos de transbordamento são provocadas principalmente pela complexidade das cadeias produtivas industriais. De um ponto de vista das políticas de reindustrialização verde ou descarbonização, os setores estratégicos estão localizados principalmente nos blocos industriais.

As emissões da agropecuária e commodities industriais (G1) concentraram suas emissões intrablocos, com uma menor capacidade de gerarem retroalimentação das emissões por meio de seus encadeamentos para trás. As emissões dos setores de geração de eletricidade, transporte, comércio e serviços (G5) estiveram concentradas nos efeitos intrablocos e de retroalimentação. A análise conjunta de ambos os blocos (G1 e G5) indica que os setores localizados no início e no final das cadeias são importantes fontes de retroalimentação das emissões por todo o sistema produtivo. Embora os efeitos de retroalimentação apresentem valores menores do que os efeitos de transferência e transbordamento, as emissões geradas por esses efeitos tendem a se propagar, de forma circular, por todos os setores de uma economia.

Pela ótica da oferta (*forward linkages*), a maior parcela dos efeitos também esteve concentrada intrablocos, mas esses efeitos foram bastante superiores aos efeitos de transbordamento e de retroalimentação, contrastando com a análise dos resultados *backward linkages*. Chama a atenção como a dinâmica de emissões extrablocos (transbordamento e retroalimentação) ficaram concentradas nos blocos G1 e G5 (em menor medida no bloco G3), com baixa participação do bloco G4, considerado o bloco inovativo ou difusor de progresso técnico. Por um lado, os resultados refletem o maior poder de propagação de emissões de setores como agropecuária, extração e refino de petróleo, eletricidade, transportes e comércio. Por outro lado, mostra que o bloco

inovativo emite mais por meio dos *backward linkages* do que dos *forward linkages*. Em outras palavras, o bloco inovativo difunde progresso técnico ao mesmo tempo em que seu padrão de demanda de insumos dos outros blocos gera uma cadeia de poluição por meio de poluição.

A produção de commodities por meio de commodities cria uma série de encadeamentos diretos e indiretos, que resultam na geração de poluição por meio de poluição. Os resultados encontrados no estudo mostram que a geração de poluição por meio de poluição depende do padrão de interação ou interdependência entre os blocos de setores (ou subsistemas). A construção de indicadores *backward linkages* e *forward linkages*, a partir da decomposição das emissões, mostrou que a formulação de políticas de descarbonização da estrutura produtiva deve levar em consideração os diferentes padrões de emissões dos blocos de setores pelas óticas da demanda e oferta. Os resultados estão em linha com as discussões de financiamento de um *big push* ambiental e um *green new deal* brasileiro (Gramkow, 2019; Alvarenga Júnior, Costa e Young, 2021; Aidar e Moraes, 2023), centrado em políticas para uma agricultura de baixo carbono e uso sustentável da terra, infraestrutura sustentável e tecnologias limpas.

## Referências bibliográficas

- AIDAR, G.; MORAES, F. Financiando o Big Push: caminhos para destravar a transição social e ecológica no Brasil. CEPAL e Fundação Friedrich Ebert Brasil, LC/BRS/TS. 2023/7.
- ALATRISTE-CONTRERAS, M. G. The relationship between the key sectors in the European Union economy and the intra-European Union trade. **Journal of Economic Structures**, v. 4, p. 1-24, 2015.
- ALCÁNTARA, V.; PADILLA, E. Input–output subsystems and pollution: An application to the service sector and CO2 emissions in Spain. **Ecological Economics**, v. 68, n. 3, p. 905-914, 2009.
- ALVES-PASSONI, P., FREITAS, F. Estimação de Matrizes Insumo-Produto anuais para o Brasil no Sistema de Contas Nacionais Referência 2010. Texto para Discussão, 025/2020, Instituto de Economia/IE, UFRJ. 2020. URL: [https://www.ie.ufrj.br/images/IE/TDS/2020/TD\\_IE\\_025\\_2020\\_ALVES-PASSONI\\_FREITASv2.pdf](https://www.ie.ufrj.br/images/IE/TDS/2020/TD_IE_025_2020_ALVES-PASSONI_FREITASv2.pdf)
- ALVARENGA JUNIOR, M.; COSTA, L. A. N.; YOUNG, C. E. F. Um Green New Deal para o Brasil. **GV Executivo**, 2022.
- ALVARENGA JÚNIOR, M.; COSTA, L. A. N.; COSTA, K.V. Nota técnica sobre a elaboração de vetores ambientais para as matrizes de insumo-produto (2000-2020). Forthcoming.
- BUTNAR, I.; LLOP, M. Structural decomposition analysis and input–output subsystems: Changes in CO2 emissions of Spanish service sectors (2000–2005). **Ecological Economics**, v. 70, n. 11, p. 2012-2019, 2011.
- CALOFFI, A.; SERRA, M. Revisiting Perroux’s development poles: the cases of Italy and Brazil. Texto para Discussão. Unicamp. IE, Campinas, n. 425, fev. 2022.
- CHENERY, H. B.; WATANABE, T. International comparisons of the structure of production. **Econometrica: Journal of the Econometric Society**, p. 487-521, 1958.
- CHENERY, Hollis Burnley et al. **Industrialization and growth**. New York: Oxford University Press, 1986.
- DAHMÉN, E. Entrepreneurial activity and the development of Swedish industry, 1919–1939. The American Economic Association. Homewood, I, 1970.

DAHMEIN, E. 'Development blocks' in industrial economics. **Scandinavian Economic History Review**, v. 36, n. 1, p. 3-14, 1988.

DIETZENBACHER, E. Interregional multipliers: looking backward, looking forward. **Regional Studies**, v. 36, n. 2, p. 125-136, 2002.

ENFLO, K.; KANDER, A.; SCHÖN, L. Identifying development blocks—a new methodology: Implemented on Swedish industry 1900–1974. **Journal of evolutionary economics**, v. 18, p. 57-76, 2008.

FERRAZ, J. C.; KUPFER, D.; HAGUENAUER, L. Made in Brazil: desafios competitivos para a indústria. **Rio de Janeiro: Campus**, p. 386, 1995.

FRITZ, O. M.; SONIS, M.; HEWINGS, G. JD. A Miyazawa analysis of interactions between polluting and non-polluting sectors. **Structural Change and Economic Dynamics**, v. 9, n. 3, p. 289-305, 1998.

GARBELLINI, N.; WIRKIERMAN, A. L. Blocks and circularity in labour requirements: An interplay between clusters and subsystems in the EU. **Structural Change and Economic Dynamics**, v. 28, p. 60-74, 2014.

GHOSH, A. Input-output analysis with substantially independent groups of industries. **Econometrica, Journal of the Econometric Society**, p. 88-96, 1960.

GRAMKOW, C. De obstáculo a motor do desenvolvimento econômico: o papel da agenda climática no desenvolvimento. Alternativas para o desenvolvimento brasileiro: novos horizontes para a mudança estrutural com igualdade. LC/TS.2019/27 e LC/BRS/TS.2019/3, Marcos Vinicius

Chiliatto Leite (Org.), Santiago, CEPAL, 2019.

HIRSCHMAN, Albert O. **The strategy of economic development**. 1958.

HOEKSTRA, R. **Economic growth, material flows and the environment: new applications of structural decomposition analysis and physical input-output tables**. Edward Elgar Publishing, 2005.

KALDOR, N. **Causes of the slow rate of economic growth of the United Kingdom: an inaugural lecture**. London: Cambridge UP, 1966.

KUPFER, D.; TIGRE, P. Prospecção tecnológica. In: Caruso, L.A.; Tigre, P. B. (organizadores). Modelo SENAI de Prospecção: Documento Metodológico. Montevideo. OIT/CINTERFOR. 2004.

LENZEN, M. Environmentally important paths, linkages and key sectors in the Australian economy. **Structural Change and Economic Dynamics**, v. 14, n. 1, p. 1-34, 2003.

MILANA, C. Direct and indirect requirements for gross output in input-output analysis. **Metroeconomica**, v. 37, n. 3, p. 283-92, 1985.

MILLER, R. E. Interregional feedbacks in input-output models: some experimental results. **Economic Inquiry**, v. 7, n. 1, p. 41, 1969.

MORVAN, Y. *Fondements de l'économie industrielle*. Collection Gestion, Economica, Paris, 1991.

NANSAI, K. et al. Material and energy dependence of services and its implications for climate change. *Environmental Science and Technology* 43, 4241 – 4246, 2009.

NASSIF, L.; TEIXEIRA, L.; ROCHA, F. Houve redução do impacto da indústria na economia brasileira no período 1996-2009? Uma análise das matrizes insumo-produto. **Economia e Sociedade**, v. 24, p. 355-378, 2015.

NAVARRO, F.; ALCÁNTARA, V. Las emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) en el subsistema agroalimentario catalán: un análisis input-output alternativo. **Economía agraria y recursos naturales**, v. 10, n. 2, p. 25-39, 2010.

PERROUX, F. Les pôles de développement et la politique de l'Est. **Politique étrangère**, v. 22, n. 3, p. 233-270, 1957.

PERROUX, F. La firme motrice et la région motrice. *Cahiers de l'ISEA*, Série AD, 1961.

PYATT, G.; ROUND, J. I. Accounting and fixed price multipliers in a social accounting matrix framework. **The Economic Journal**, v. 89, n. 356, p. 850-873, 1979.

RASMUSSEN, P. Studies in inter-sectoral relations. Einar Harks, Copenhagen, 1956.

ROUND, J. I. Decomposing multipliers for economic systems involving regional and world trade. **The Economic Journal**, v. 95, n. 378, p. 383-399, 1985.

ROUND, J. I. Feedback Effects in Interregional Input-Output Models: What Have We Learned?. In: LAHR, M. e DIETZENBACHER, E. (Eds.) Input-output analysis: Frontiers and extensions. Palgrave, pp. 54-70, 2001.

SÁNCHEZ-CHÓLIZ, J.; DUARTE, R. Analysing pollution by way of vertically integrated coefficients, with an application to the water sector in Aragon. **Cambridge Journal of Economics**, v. 27, n. 3, p. 433-448, 2003.

SEEG. Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas de clima do Brasil. **Brasil. Available online at: [https://bit. ly/3I9EORD](https://bit.ly/3I9EORD)**, 2020.

SILVA, A. L. G.; LAPLANE, M. Dinâmica recente da indústria brasileira e desenvolvimento competitivo. **Economia e Sociedade**, v. 3, n. 1, p. 82-98, 1994.

SONIS, M.; HEWINGS, G. Hierarchies of regional sub-structures and their multipliers within input-output systems: Miyazawa revisited. **Hitotsubashi Journal of Economics**, p. 33-44, 1993.

SRAFFA, P. Production of Commodities by Means of Commodities, Cambridge, Cambridge University Press, 1960.

TORRACCA, J. F.; KUPFER, D. A evolução da taxa de câmbio efetiva real setorial e a mudança estrutural no padrão de comércio da indústria brasileira. In: Anais eletrônicos... Encontro Nacional de Economia, 41, Natal, ANPEC, 2014. Disponível em: <<https://goo.gl/f9Unig>>

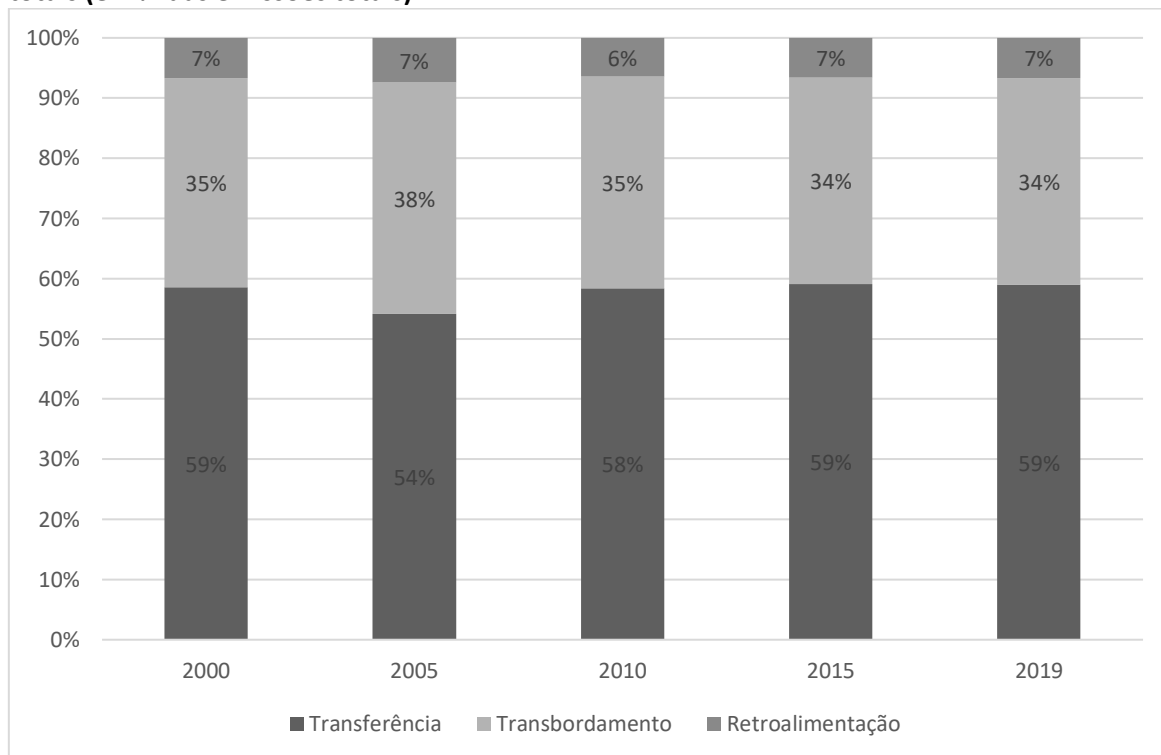


# APÊNDICE 1

	<b>Setores</b>	<b>Blocos</b>
T1	Agricultura, silvicultura, exploração florestal, pecuária e pesca	G1
T2	Extração de petróleo e gás, inclusive as atividades de apoio	
T3	Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração	
T4	Outros da indústria extrativa	
T5	Refino de petróleo e coquearias	
T6	Fabricação de biocombustíveis	
T7	Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros	
T8	Cimento e outros produtos de minerais não-metálicos	
T9	Fabricação de aço e derivados	
T10	Metalurgia de metais não-ferrosos	
T11	Produtos de metal - exclusive máquinas e equipamentos	
T12	Fabricação de produtos do fumo	G2
T13	Fabricação de produtos da madeira	
T14	Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	
T15	Alimentos e Bebidas	G3
T16	Fabricação de produtos têxteis	
T17	Confecção de artefatos do vestuário e acessórios	
T18	Fabricação de calçados e de artefatos de couro	
T19	Impressão e reprodução de gravações	
T20	Perfumaria higiene e limpeza	
T21	Fabricação de defensivos, desinfetantes, tintas e químicos diversos	
T22	Artigos de borracha e plástico	
T23	Máquinas e equipamentos e móveis e produtos das indústrias diversas	
T24	Produtos farmacêuticos	G4
T25	Eletrodomésticos e material eletrônico	
T26	Automóveis camionetas caminhões e ônibus	
T27	Peças e acessórios para veículos automotores	
T28	Outros equipamentos de transporte	
T29	Produção e distribuição de eletricidade gás água esgoto e limpeza urbana	G5
T30	Construção civil	
T31	Comércio	
T32	Transporte armazenagem e correio	
T33	Serviços de alojamento e alimentação	
T34	Serviços de informação	
T35	Intermediação financeira seguros e previdência complementar e serviços relacionados	
T36	Atividades imobiliárias e aluguéis	
T37	Serviços prestados às empresas e às famílias e serviços de manutenção	
T38	Administração pública, defesa e seguridade social	
T39	Educação pública	
T40	Educação privada	
T41	Saúde pública	
T42	Saúde privada	

## APÊNDICE 2

**Gráfico 1 – Peso dos efeitos transferência, transbordamento e retroalimentação nas emissões totais (em % das emissões totais)**



Fonte: elaboração própria

**Tabela 1 – Peso das emissões intrabloco nas emissões totais - 2019**

	G1	G2	G3	G4	G5	Total
	41,8%	-	-	-	-	41,8%
	-	1,0%	-	-	-	1,0%
	-	-	1,3%	-	-	1,3%
	-	-	-	1,8%	-	1,8%
	-	-	-	-	13,0%	13,0%
						59,0%

Fonte: elaboração própria

**Tabela 2 – Peso das emissões interblocos (efeito transbordamento) nas emissões totais - 2019**

G1	G2	G3	G4	G5	Total
-	7,3%	8,6%	1,8%	2,6%	20,3%
0,0%	-	0,2%	0,0%	0,0%	0,3%
0,2%	0,0%	-	0,0%	0,1%	0,4%
0,0%	0,0%	0,0%	-	0,1%	0,2%
6,5%	1,5%	3,5%	1,7%	-	13,3%
					34,3%

Fonte: elaboração própria

**Tabela 3 – Peso das emissões interblocos (efeito retroalimentação) nas emissões totais - 2019**

G1	G2	G3	G4	G5	Total
3,4%	0,2%	0,4%	0,2%	0,2%	4,4%
0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,1%
0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
0,3%	0,1%	0,2%	0,1%	1,4%	2,2%
					6,7%

Fonte: elaboração própria