A EXPOSIÇÃO DA ECONOMIA BRASILEIRA AOS SETORES DE MAIOR IMPACTO NAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA: UMA ANÁLISE INSUMO-PRODUTO[1]

Luiz Fernando Rodrigues de Oliveira[2]
Felipe Morelli da Silva[3]

RESUMO

Esse artigo aplicou a abordagem de insumo-produto para identificar os setores com maior impacto nas emissões de Gases do Efeito Estufa (GEEs) considerando não apenas as emissões diretas, mas aquelas indiretas por meio dos seus elos produtivos e induzidas pela geração de renda. Verificou-se que a maior parte das emissões é setorialmente concentrada em pecuária, abate de produtos de carne, transportes terrestres, agricultura, indústria mineral e siderúrgica, respectivamente. Com o método de extração hipotética, estimou-se a exposição da economia brasileira a essas atividades em distintas dimensões. Aquela mais crítica está no impacto sobre balança comercial, tanto em nível quanto em taxa de variação, seguida da arrecadação tributária, ao passo que o potencial sobre o pagamento de salários é aquela de menor impacto dentre as dimensões analisadas. Esses resultados acendem um alerta sobre os desafios do Brasil em uma estratégia de transição ecológica, que devem minimizar os seus potenciais impactos negativos, sobretudo sobre a estabilidade do câmbio e do nível de reservas internacionais.

---

[1] Esse artigo deriva do Texto para Discussão nº 3168 do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). Fonte: OLIVEIRA, Luiz Fernando Rodrigues de; SILVA, Felipe Morelli da. A Exposição da economia brasileira aos setores de maior impacto nas emissões de gases de efeito estufa: uma análise insumo-produto. Rio de Janeiro: Ipea, out. 2025. 57 p.: il. (Texto para Discussão, n. 3168). DOI: https://dx.doi.org/10.38116/td3168-port

[2] Técnico de planejamento e pesquisa na Diretoria de Estudos e Políticas Macroeconômicas (Dimac) do Ipea.

[3] Doutor em economia pela Universidade de Brasília (UnB) e Pesquisador Associado do Ipea.

1 INTRODUÇÃO

O aumento da preocupação social com o meio ambiente é um fato contemporâneo e nessa toada a mudança climática é o tópico que toma o maior relevo. Segundo Hassler et al. (2024), existe um amplo consenso acadêmico acerca da existência do aquecimento global, bem como de sua principal causa ser as emissões humanas de gases que dificultam a saída de calor do planeta, isto é, o conhecido efeito estufa. Por esse motivo, a atual era geológica, a partir de meados do século XX em diante, é reconhecida como antropoceno, ou seja, a era na qual a atividade humana é a principal propulsora das mudanças ambientais (MARQUES, 2023). Silva et al. (2024) destacam a primeira e a segunda medida de tendência central que sintetizam as mudanças climáticas: elevação da média e do desvio-padrão da temperatura terrestre.

O reconhecimento acerca da relevância dos pontos acima elencados elevou o debate climático à escala internacional, particularmente ao âmbito da Organização das Nações Unidas (ONU), onde se arquitetou uma série de acordos internacionais orientada à descarbonização do planeta. Cabe destacar que o Brasil é signatário destas convenções[4], de modo que, mesmo sendo responsável por apenas 5% das emissões de gases de efeito estufa, o país tem o compromisso de implementar políticas públicas visando a redução de suas emissões (CACHOLA; PACCA; 2024). Esse compromisso é ratificado e delimitado com a Contribuição Nacional Determinada (NDC da sigla em inglês) do Brasil, segundo o qual o país se comprometeu a reduzir suas emissões de GEEs em 48% até o ano de 2035 e 53% até 2050, comparando-se com os níveis de 2005 (BRASIL, 2024).

Pelos motivos acima elencados, um dos principais temas presente no estudo entre meio ambiente e economia é a acumulação de GEEs resultantes da atividade econômica (MAGALHÃES;

[4] Por exemplo, o acordo de Paris de 2015 sobre mudanças climáticas fixou um limite para o aumento da temperatura média global a 1,5 ◦C em relação aos níveis pré-industriais.

DOMINGUES, 2013). A importância deste tópico possui contornos práticos de políticas públicas voltadas à descarbonização da economia. Nesse sentido, cabe pensar e aplicar a modelagem econômica como instrumento de análise ambiental no qual destacam-se as vantagens de modelos multissetoriais devido aos impactos heterogêneos que cada setor econômico possui sobre o meio ambiente, o que se torna mais complexo diante das interações intersetoriais. Dentre os modelos multissetoriais, evidencia-se o modelo de insumo-produto fundado por Leontief (1936; 1966), que possui extensões úteis para a compreensão da interação entre economia e meio ambiente.

Diante disso, o presente texto tem como objetivo contribuir com essa literatura, especificamente com uma avaliação empírica aplicada ao caso brasileiro, identificando os setores com maior impacto sobre as emissões de gases de efeito estufa, bem como a exposição da economia brasileira a esses setores em diferentes dimensões: produção, emprego, arrecadação de impostos e balança comercial. Para tanto, o trabalho apresenta, além desta introdução, uma seção de revisão de literatura, outra de metodologia, seguida de uma análise de resultados e, por fim, as considerações finais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A modelagem mais comumente empregada na análise econômico-ambiental parte de abordagens multissetoriais. A família de modelos de Equilíbrio Geral Computável (CGE), por exemplo, são amplamente utilizados[5]. Outro modelo de abordagem multissetorial com recorrente uso para a análise ambiental é o modelo de Insumo-Produto, o qual será empregado neste texto de discussão. A modelagem de insumo-produto preconizada por Leontief (1966) se adequa a análise econômica do meio ambiente uma vez que visualiza as interações intersetoriais sob uma perspectiva macroeconômica fundamentada na

[5] Sobre CGE para a análise ambiental ver Ghandi (1995) e Batten (2018).

contabilidade nacional. Tal adequação é bem documentada na literatura especializada (MILLER; BLAIR, 2022).

Na literatura internacional, pode-se mencionar o próprio trabalho do fundador da análise insumo-produto como um dos primeiros estudos que modelam os impactos das emissões para o caso da economia dos Estados Unidos (LEONTIEF; FORD, 1971). Ademais, os GEEs não são as únicas variáveis ambientais que são aplicadas à análise insumo-produto, como mostram Li et al. (2018) ao estudarem os impactos do consumo setorial de água para a economia indiana. Nesse estudo os autores calcularam não somente os impactos diretos e indiretos de cada setor, mas também os impactos induzidos pela renda e consumo das famílias. Outra área na qual a análise insumo-produto contribui para a avaliação de impactos ambientais é no estudo do comércio internacional, por exemplo, no caso de Wiedmann (2009) que utiliza um modelo multirregional de insumo-produto voltado para a economia global.

Já do ponto de vista da literatura nacional sobre o tema, a quantidade de artigos que usam bases brasileiras para a análise insumo-produto sobre o meio ambiente não é escassa. Hilgemberg e Guilhoto (2006) usam o Balanço Energético Brasileiro (BEM) do Ministério de Minas e Energia e a matriz inter-regional de insumo-produto estimada pelo grupo de Projeções Econômicas do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) para analisar os impactos das emissões setoriais por regiões do Brasil, apontando os casos mais críticos das regiões Nordeste e Sul. Já Montoya et al. (2016) realizam uma análise do Brasil como um todo, deixando os aspectos regionais de lado, com um enfoque sobre o consumo de energia e a emissão de dióxido de carbono (CO_2) do agronegócio brasileiro, que, em ambos os casos, estão acima da média nacional. Para isso, a pesquisa usou o BEM em conjunto com a Matriz Energética e de Emissões publicada pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), convertendo gastos energéticos em CO_2. Outra abordagem útil para a formulação de políticas públicas que mitiguem os impactos ambientais da ação humana é o método de decomposição estrutural da análise insumo-produto, como feito no

trabalho de Silva e Perobelli (2012), que possuem a vantagem de mostrar como cada setor vem alterando sua pegada de carbono ao longo do tempo.

Particularmente no caso da transição energética, um trabalho de relevância foi desenvolvido por Magacho et al. (2023), que se dedica a analisar a economia mundial por meio de um modelo multirregional de insumo-produto. A proposta da pesquisa foi desenvolver uma metodologia, bem como aplicá-la à economia mundial, que busca mensurar a exposição dos países aos setores com alto impacto nas emissões de carbono, setores que foram considerados potencialmente decadentes (sunset na terminologia empregada), isto é, que devem perder participação no produto agregado para que as economias nacionais consigam reduzir suas emissões[6]. Neste estudo, os autores apontam para a necessidade de uma mudança estrutural das economias, planejada e conduzida pelos seus governos na direção de uma estrutura produtiva mais adequada aos desafios ambientais do século XXI.

Uma mudança estrutural ecológica[7] representa uma alteração da estrutura produtiva de uma dada região que eleve a participação de atividades menos agressivas ao meio ambiente e reduza a participação das mais agressivas, como as mais emissoras de GEEs. Além de Magacho et al. (2023), autores como Romeiro (2018), Andersson et al. (2020) e Silva et al. (2024) ressaltam a relevância de uma mudança estrutural ecológica.

Em meio a isso, o que o presente trabalho busca complementar é a realização de uma análise das especificidades da economia brasileira com o uso da metodologia desenvolvida por Magacho et al. (2023). Seu estudo, apesar de abarcar a economia brasileira, não considera suas idiossincrasias dado que os setores decadentes são calculados considerando-se 189 países, o que acaba por enviesar a análise para países com elevado peso na economia mundial, algo que foi

[6] Cabe observar que as emissões são tratadas pelos autores em unidades de volume, como recomendado por Ghandi et al. (1995) para se evitar problema de valoração inadequada dos recursos naturais.

[7] Esse termo foi cunhado por Silva et al. (2024).

reconhecido pelos autores. Para além disso, em um anexo do mesmo trabalho é feita uma análise específica para o Gabão e a Jordânia, nos quais se identificam setores diferentes daqueles calculados para a economia mundial, isso demonstra que cada país, devido às suas características estruturais e à tecnologia de cada setor, possui elos críticos diferentes. Por outro lado, existem abordagens e métodos referenciados na tradição literária de insumo-produto que podem contribuir para uma análise mais acurada do caso brasileiro, como a endogeneização do consumo e da renda como feito por Li et al. (2018) e Hilgemberg e Guilhoto (2006), isso permite avaliar os impactos das emissões das famílias, os quais são heterogêneos setorialmente.

Com essas reflexões sobre o estudo das relações entre economia e meio ambiente, particularmente sobre a necessidade de avaliar os urgentes problemas macroeconômicos advindos da transição climática, e do papel da modelagem multissetorial para análises como essa, cabe apresentar a metodologia empregada para essa finalidade.

3 METODOLOGIA E DADOS UTILIZADOS

3.1 DADOS DE INSUMO-PRODUTO

Uma das bases de dados utilizada neste trabalho são as MIPs de Alvez-Passoni (2022), que possuem a vantagem de serem calculadas com a mesma metodologia anualmente de 2000 até 2020, embora o período considerado seja somente de 2010 a 2019[8]. Esse trabalho utiliza as matrizes deflacionadas para um mesmo ano-base[9], o ano de 2010, para fins de comparabilidade das variações de quantidade entre os anos disponíveis.

[8] Os anos anteriores a 2010 não serão usados porque estão disponíveis com apenas 42 setores, enquanto a partir de 2010 há a disponibilidade de usar 67 setores, já o ano de 2020 foi muito atípico em função da crise econômica decorrente da pandemia de COVID-19, motivo pelo qual foi excluído da análise.

[9] Os impostos indiretos, bem como o valor adicionado são fornecidos apenas a preços do ano corrente e do ano anterior, foi preciso deflacioná-los para serem compatíveis com os demais dados da MIP. Isso foi feito utilizando-se a mesma metodologia de Alvez-Passoni (2022), por meio de índices de Paasche encadeados com base no VBP agregado.

3.2 Dados de emissão para o Brasil

No Brasil, o órgão responsável pelas estimativas das emissões é o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), através do projeto SIRENE (Sistema de Registro Nacional de Emissões). O SIRENE utiliza como base a metodologia do IPCC, mas, quando possível, adapta essa metodologia aos dados brasileiros para torná-la mais precisa. O MCTI divulga as emissões anuais a cada dois anos. A última publicação foi em 2022, referente às emissões até 2020. Além disso, a metodologia completa pode ser consultada nos relatórios de referência disponíveis no site do MCTI (2020a, b, c, d). O grande problema dessa estimativa é que ela tem algumas diferenças em relação à forma de agregação setorial dos dados econômicos, o que dificulta a utilização dessas duas bases de dados conjuntamente. A metodologia de desagregação do MCTI para os setores das contas nacionais do IBGE para o setor energético foi apresentada por Da Silva (2024a) no congresso de economia regional; o restante das desagregações (agropecuária, resíduo, LULUCF e IPPU) é foi feita seguindo essa metodologia. Tais dados de emissões por setor são fornecidos em milhões de gigagramas de Dióxido de Carbono e equivalentes (CO2e).

3.3 Metodologia Insumo-Produto

A abordagem insumo-produto parte do modelo canônico de Leontief (1966) o qual se funda na seguinte identidade

$$\boldsymbol{x} = \boldsymbol{Zi} + \boldsymbol{Fi} \quad (1)$$

Em que $\boldsymbol{x}$ é o vetor coluna de VBP de tamanho n, com n sendo o número de setores da economia, $\mathbf{Z}$ é uma matriz de ordem n x n a qual demonstra o que cada um dos n setores vendeu para todos os demais, $\mathbf{F}$ é uma matriz de ordem n x k, em que k é o número de componentes da demanda final, a qual demonstra o que cada setor vendeu para cada agente da demanda final e $\boldsymbol{i}$ é um vetor cujo todos os elementos são

iguais a um[10], sendo que todas essas variáveis são valoradas a preços básicos.

Assim, o vetor de demanda final é

$$\boldsymbol{f} = \boldsymbol{Fi} \quad (2)$$

A partir dessa identidade Leontief (1966) deriva a sua matriz de coeficientes técnicos de produção, ou matriz de impactos diretos, a partir de n funções de produção com complementariedade perfeita, da seguinte maneira

$$\boldsymbol{A} = \mathbf{Z}\,\hat{\mathbf{x}}^{\mathbf{-1}} \quad (3)$$

Em que o circunflexo sobre o VBP indica a diagonalização do vetor, enquanto o -1 indica a inversão da matriz. Com isso, as equações (2) e (3) são inseridas na equação (1)

$$\boldsymbol{x} = \boldsymbol{Ax} + \boldsymbol{f} \quad (4)$$

Isolando o VBP, tem-se a equação básica do modelo de Leontief

$$\boldsymbol{x} = (\boldsymbol{I} - \boldsymbol{A})^{\mathbf{-1}}\boldsymbol{f} \quad (5)$$

Sendo **I** a matriz identidade de ordem n. Essa equação matricial mostra os impactos diretos e indiretos que uma variação no vetor de demanda final possui sobre o vetor de VBP, em que a matriz pré-multiplicada a demanda final é a matriz de impactos totais, reconhecida como matriz de Leontief, designada como

$$\boldsymbol{L} = (\boldsymbol{I} - \boldsymbol{A})^{\mathbf{-1}} \quad (6)$$

Baseando-se nessa matriz, Magacho et al. (2023) estima os impactos totais das emissões, tomando os coeficientes setoriais de emissões diretas como

$$e_i^d = \frac{emissões_i}{x_i} \quad (7)$$

[10] Para esclarecer as notações, letras maiúsculas representam matrizes, minúsculas com itálico representam vetores, ambos em negrito, caso contrário se está fazendo referência a escalares.

Sendo i o índice que designa o i-ésimo setor e d o índice que designa o fato de ser um impacto direto. Então, sendo $\boldsymbol{e}$ o vetor com os coeficientes de todos os n setores, o impacto indireto é definido como

$$\boldsymbol{e^i = \hat{e}L - \hat{e}} (8)$$

Do qual $\hat{e}L$ é a matriz de impacto total das emissões e a soma das suas colunas é o que Magacho et al. (2023) chamaram de intensidade de emissões a montante (*backward emissions intnsity*) da cadeia, ou seja, o que o setor emite diretamente mais o que os seus fornecedores diretos e indiretos precisam emitir para atender a sua demanda.

Para realizar uma análise da oferta e estimar a intensidade de emissões a jusante (for*ward emissions intensity*) da cadeia, Magacho et al. (2023) optaram por utilizar o modelo de Ghosh, que se baseia no modelo de Leontief para criar um modelo pelo lado da oferta. A sua matriz de impacto, a chamada matriz de Ghosh (**G**), é definida a partir de coeficientes diretos de participação de mercado dos ofertantes

$$\boldsymbol{B = \quad \hat{x}^{-1} Z} (9)$$

Do qual, de maneira similar ao modelo de Leontief, deduz-se uma matriz de impactos diretos e indiretos

$$\boldsymbol{G = (I - B)^{-1}} (10)$$

Sob posse dessa matriz, calcula-se a matriz indireta de intensidade de emissões a jusante

$$\boldsymbol{e^{if} = G\hat{e} - \hat{e}} (11)$$

Frente a isso, o vetor de emissões setoriais a jusante da cadeia é calculado pela soma das linhas de $\boldsymbol{G\hat{e}}$ de modo que é possível identificar aqueles setores os quais possuem maior impacto para frente da cadeia. Em conjunto com os impactos para trás, identifica-se quais são os setores considerados decadentes no processo de transformação estrutural. Identificando quais seriam esses setores, o próximo passo é mensurar a exposição da economia a esse grupo de atividades. No

entanto, o presente texto também irá considerar o papel do consumo induzido pela demanda autônoma sobre o consumo das famílias, o qual é uma extensão do modelo canônico de Leontief. De acordo com Miller e Blair (2022), a matriz expandida de consumo endógeno é

$$\bar{\boldsymbol{Z}} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{Z} & \boldsymbol{c} \\ \boldsymbol{r} & 0 \end{bmatrix} (12)$$

Em que $\boldsymbol{c}$ é o vetor coluna de consumo das famílias, $\boldsymbol{r}$ o vetor linha de renda induzida[11] e 0 o escalar que fecha a matriz. Analogamente, define-se o vetor de VBP expandido como $\bar{\boldsymbol{x}}$ com a adição de x_{n+1} representando o consumo final mais os impostos sobre o consumo final. Com isso, define-se a matriz de Leontief expandida como

$$\bar{\boldsymbol{L}} = \overline{\boldsymbol{Zx}}^{\wedge\mathbf{1}} (13)$$

Ao passo que o vetor de coeficientes de emissões expandido $\bar{\boldsymbol{e}}$ é definido adicionando-se uma célula de emissões residenciais. Assim, o efeito das emissões induzidas é calculado da seguinte maneira[12]

$$\bar{\boldsymbol{e}}^{\boldsymbol{in}} = \hat{\boldsymbol{e}}\bar{\boldsymbol{L}} - \hat{\boldsymbol{e}}\boldsymbol{L} (14)$$

De tal forma que os setores tratados como críticos são aqueles que possuírem uma emissão total (direta, para trás, para frente e induzida) acima do desvio-padrão das emissões setoriais[13]. Definido isso, passa-se para a mensuração da exposição da economia a essas atividades. Essa exposição é feita com base em três distintas dimensões: externa (do ponto de vista das exposições líquidas), fiscal (do ponto de vista da arrecadação) e socioeconômica (do ponto de vista do emprego e

[11] Em Miller e Blair (2022) apenas os salários foram tratados como renda induzida, mas aqui também foi incorporado uma proporção dos rendimentos mistos. Essa proporção resulta da divisão dos salários pelo excedente operacional bruto setorial, em uma tentativa de estimar a proporção dos rendimentos do trabalho nos rendimentos mistos. Miller e Blair (2022) não apresentam uma justificativa teórica para endogenizar apenas a parte da renda dos trabalhadores. A única argumentação encontrada nesse sentido é apresentada em Kalecki (1977 [1954]), o qual considera que apenas o lucro dos capitalistas (o excedente operacional bruto na nomenclatura das contas nacionais) é uma variável autônoma da renda corrente.

[12] Para essa operação ser possível é preciso que sejam adicionados um vetor de zeros como linha e outro como coluna de e^L.

[13] Essa regra de corte não foi definida em Magacho et al. (2023).

salários). A essas dimensões adiciona-se a dimensão produtiva (do ponto de vista do valor adicionado). Dentre essas dimensões, a única a qual Magacho et al. (2023) dedicou uma abordagem exclusiva foi a dimensão externa, com essa exceção é possível definir uma variável arbitrária v que represente qualquer outra das dimensões de interesse. Sendo assim, para estimar a exposição da economia ao conjunto de setores críticos define-se um VBP com a extração desses setores do seguinte modo

$$\boldsymbol{x^s} = (\boldsymbol{I} - \boldsymbol{A^s})^{-1}\boldsymbol{f^s} \quad (15)$$

No qual

$$\boldsymbol{A^s} = \widehat{\boldsymbol{d^s}} \odot \boldsymbol{A} \quad (16)$$

E

$$\boldsymbol{f^s} = \boldsymbol{d^s} \odot \boldsymbol{f} \quad (17)$$

Com d^s sendo um vetor *dummy* o qual é preenchido com 0 para os setores críticos e 1 caso contrário e $\odot$ representando o produto de Hadamard.

O próximo passo é calcular o coeficiente da variável de interesse

$$v_i = \frac{variável_i}{x_i} (18)$$

Desta maneira, o grau de exposição da economia aos setores críticos na dimensão de v é

$$Exp^v = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i^s v_i}{\sum_{i=1}^{n} x_i v_i} (19)$$

Esse indicador multiplicado por cem representa qual a perda, em termos percentuais (considerando impacto diretos, indiretos e induzidos), da variável de interesse (salário, arrecadação, etc.) para economia nacional caso esses setores fossem totalmente extraídos da sua estrutura produtiva. Algo similar ao tradicional método de insumo-produto chamado extração hipotética (MILLER, BLAIR, 2022).

Já para o caso da dimensão externa, um tratamento diferenciado é justificado uma vez que enquanto as importações são tratadas como variáveis dependentes do nível de atividade da economia, as exportações são autônomas. Por isso, define-se os coeficientes de importações diretas, indiretas e induzidas como

$$\boldsymbol{m = i\overline{A_m}\overline{(I - A_t)^{-1}}} \ (20)$$

Em que $\boldsymbol{A_m}$ é a matriz de coeficientes técnicos importados[14] e $\boldsymbol{A_t}$ é a matriz de coeficientes técnicos totais (nacionais mais importados). Posto isso, é designado o vetor de proporções de exportações líquidas

$$h_i = e_i(1 - m_i) \ (21)$$

Em que

$$e_i = \frac{exportações_i}{x_i} \ (22)$$

Deste modo, o vetor de exportações líquidas do setor i (nx_i) pode ser calculado como

$$nx_i = h_i x_i \ (23)$$

De forma que, analogamente a equação (19), a exposição externa é

$$Exp^{nx} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i^s nx_i}{\sum_{i=1}^{n} x_i nx_i} \ (24)$$

Sob posse dessas explicações, o grau de exposição da economia brasileira aos setores críticos pode ser analisado.

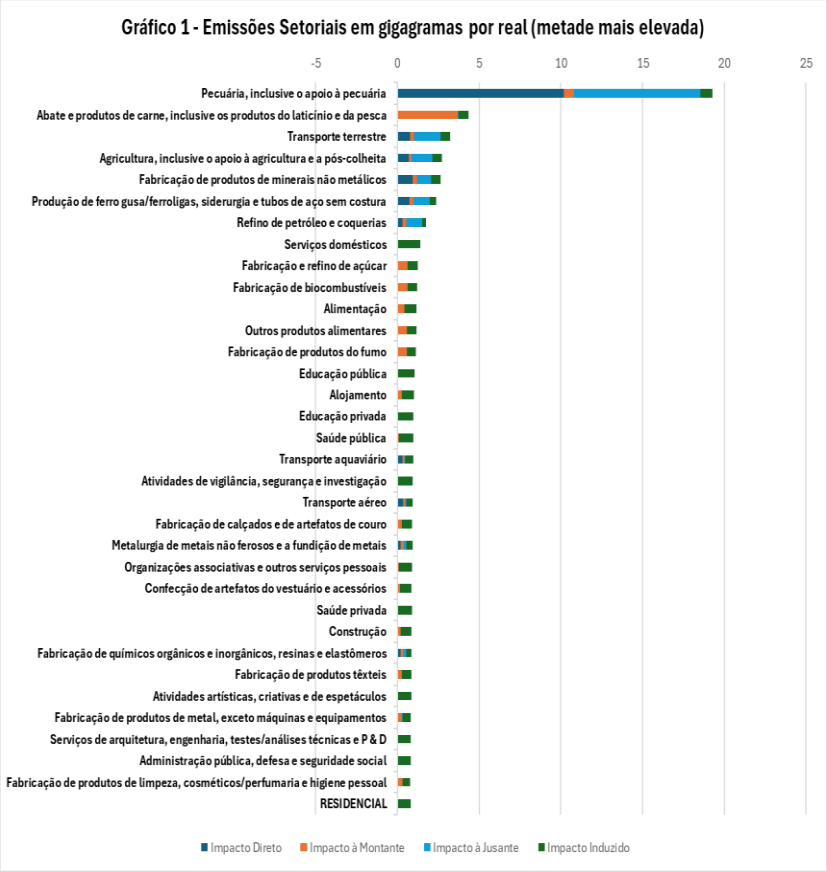
4 ANÁLISE DE RESULTADOS

O primeiro passo para a análise da exposição brasileira aos setores críticos para a adaptação a uma economia de baixa emissão é identificar como cada setor contribui para as emissões no país. O Gráfico 1 mostra

[14] Essa matriz foi definida por Magacho et al. (2023) de forma diferente da apresentada.

a metade mais elevada, isto é, os trinta e quatro setores com maiores emissões totais (direta, a montante, a jusante e induzida) no ano de 2019, aquele mais recente dentre as séries estimadas. Nesse gráfico, a atividade pecuária como maior emissora sobressai à vista com um nível de emissões muito superior ao segundo colocado, o abate de produtos de carne. Esses dois setores estão intimamente ligados pela mesma cadeia produtiva; o maior impacto da atividade pecuária é o impacto direto, provavelmente devido à emissão de metano da criação de bovinos. Enquanto isso, o abate não produz emissões diretas; seu maior impacto é a montante de sua cadeia, o qual se infere que seja em função da sua demanda pela pecuária. Tendo-se em conta o elevado nível de emissões também na agricultura, nota-se que o resultado encontrado está de acordo com a análise de Silva et al. (2024, p. 8) “Iremos argumentar que no Brasil a fonte principal de emissão de GEE são as atividades agropecuárias e a mudança no uso da terra, em particular, a conversão de florestas em pastagens e áreas de cultivo de soja”.

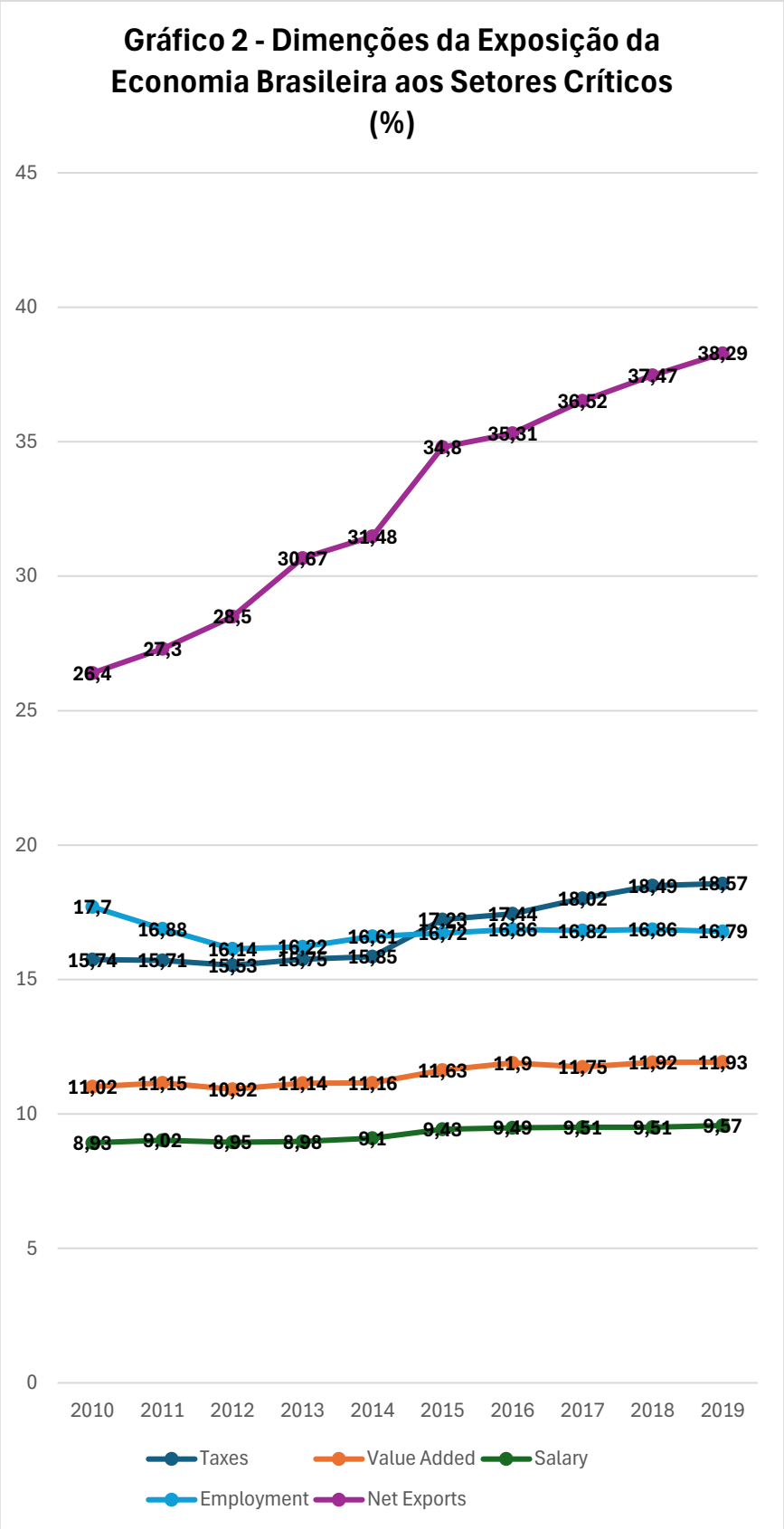
Além dessas atividades, observa-se um decaimento exponencial das emissões ao longo dos setores, ou seja, o problema de emissões brasileiras é setorialmente concentrado. Frente a isso, fica claro que, com a exceção do abate de produtos de carne, os maiores setores emissores possuem parcela relevante de suas emissões oriundas de emissões diretas, caracterizando-os como atividades que produzem emissões de forma imediata pela sua natureza tecnológica, mas também possuem uma parcela relevante de emissões a jusante da cadeia produtiva, do que se infere que são atividades que se encontram nos elos mais distantes do consumo final.



Fonte: Elaboração Própria com dados de Alves-Passoni (2022)

Com base nesses dados, fica claro quais são os setores com maior emissão, mas os setores críticos selecionados são apenas aqueles com emissões totais superiores a um desvio-padrão, nesse caso 2,32 gigagramas por real. Com isso, além da pecuária e abate, as atividades de transporte terrestre, agricultura, produção de minerais não metálicos e siderurgia configuram o conjunto de atividades críticas às quais demandam políticas públicas que visem diminuir seu impacto ambiental.

O próximo passo é explorar quais são as dimensões macroeconômicas mais críticas para a economia brasileira no curso de uma mudança estrutural sustentável do ponto de vista ecológico. Para tanto, o Gráfico 2 possui a ilustração mais relevante deste trabalho, apresentando uma dinâmica comparativa da exposição da economia brasileira aos setores críticos em distintas dimensões.



Fonte: Elaboração Própria com dados de Alves-Passoni (2022)

Diante disso, é proeminente o papel da exposição externa frente às demais dimensões em análise, dado que não é somente a mais elevada em termos percentuais, como também é aquela que mais cresce, comprometendo as exportações líquidas em 26,4 % em 2010, valor que saltou para 38,3% em 2019[15]. Não obstante, quando se fala de exposição externa se está apenas considerando o impacto na balança comercial, por meio das exportações líquidas, o que tende a ser agravado pelas movimentações financeiras internacionais, como reconhecem os idealizadores desta metodologia

> The analysis of the external exposure in this paper is based only on real flows. [...] Nevertheless, Foreign Direct Investments (FDI) are also an important source of foreign currency for some countries, sometimes preventing balance-of-payment constraints and sometimes reinforcing real flows (MAGACHO et al., 2023, p. 29).

Como os setores críticos possuem grande e crescente relevância na pauta exportadora do país, atuando como geradores líquidos de reservas, eles apresentam potencial para estabilizar a taxa de câmbio e atrair investimento direto, o que torna a exposição externa ainda mais dramática e um grande desafio para os formuladores de política econômica no processo de transição para uma economia de baixo carbono.

Essa restrição do balanço de pagamentos como a maior restrição ao desenvolvimento econômico é uma característica de países periféricos (CAMPOS, 2020). Isso posto, é válido relembrar as inúmeras crises de balanço de pagamentos pela qual o Brasil já passou e que desencadearam instabilidade cambial e dificuldades de pagamento da dívida externa (GIAMBIAGI et al., 2011). Deste modo, o balanço de pagamento pode ser a maior restrição a um projeto de transição climática para uma economia de baixo carbono. Isso aprofunda a problemática levantada por Tausch e Magacho (2024) da necessidade da elevação das importações de bens de capital para a transição climática.

[15] Isso contrasta o caso brasileiro com o dos países desenvolvidos, como os Estados Unidos e os países da União Europeia, que são importadores líquidos de emissões de CO2, como mostra Hassler (2024).

Para além da exposição externa, todas as demais dimensões também têm relevância para o Brasil, visto que a dimensão menos relevante, a massa salarial, teria uma queda potencial de quase 10% caso tais setores fossem hipoteticamente extraídos da economia. Em termos mais precisos, essa perda era estimada em 8,9% em 2010 e passou para 9,6% em 2019, um leve agravamento. O fato de serem os salários a variável menos afetada sugere que os setores críticos são, em geral, concentradores de renda, em comparação com os demais setores da economia. Assim, considerando-se a dimensão da igualdade social, em termo de distribuição funcional da renda, a exposição à transição energética é relativamente reduzida. Isso fica mais claro quando se analisa a exposição brasileira na dimensão produtiva, que seria mais afetada que os salários, com um valor médio de 11,5%, cerca de 2,2% a mais que o valor médio dos salários.

A exposição quanto ao emprego, no entanto, é superior tanto a exposição aos salários como a exposição produtiva, com uma exposição média de 16,8%. Este comparativo indica que os salários e a produtividade desses setores, bem como de suas cadeias produtivas, são relativamente baixos. Por tais razões, apesar de um impacto desconcentrador de renda do ponto de vista de distribuição funcional da renda, os impactos distributivos ao se considerar a distribuição pessoal da renda parecem mais prejudiciais, afetando-se mais os trabalhadores mais mal remunerados. Isso é mais preocupante quando se tem a perspectiva que as tecnologias associadas à produção ecologicamente eficientes podem ser mais intensivas em capital, como argumenta Andersson et al. (2020, p. 25) “Renewable energy has a very different cost structure from conventional fossil fuels and needs substantial up-front capital expenditure. It tends to be very capital intensive [...]”. Entretanto, há argumentos que vão no sentido contrário, segundo o qual as tecnologias verdes são intensivas em trabalho, como, por exemplo, Batten (2018, p.31/32) “Because low-carbon technologies are more labour-intensive than other energy technologies, the short-term employment effect of climate policy should be positive, while labour productivity is likely to decrease [...]”.

Já a exposição fiscal, medida pela perda potencial de arrecadação de tributos, é a segunda dimensão mais crítica a ser considerada. Em 2010 a exposição fiscal era menor, em termo percentuais, que a exposição do emprego, com 15,74% de perda de arrecadação, mas esse percentual foi crescendo com o tempo até alcançar apreciáveis 18,57%. Isso possui um efeito positivo, demonstrando que os setores intensivos em emissões vem sendo cada vez mais taxados e, portanto, desincentivados, porém a dependência crescente da arrecadação desses setores pode minar a capacidade do Estado de utilizar a tributação como instrumento de política fiscal, bem como elevar as dificuldades de cumprir as metas de superávit primário.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho objetivou contribuir com a discussão sobre os impactos da transição brasileira para uma economia de baixo carbono com o uso da abordagem de insumo-produto. Particularmente, baseou-se na metodologia desenvolvida por Magacho et al. (2023) para estimar a exposição da economia aos setores mais intensivos em emissões de GEE. Para uma devida interpretação dos resultados foi feito uma apresentação da literatura econômica que aborda a questão ambiental, sobretudo o tema das mudanças climáticas e sua relação com a macroeconomia, bem como a adequação da abordagem insumo-produto para a análise do tema. Essa revisão conclui pela necessidade da ação pública para promover a necessária mudança estrutural ecológica.

Os resultados encontrados apontam para uma concentração das emissões em poucos setores, entre os quais se destaca a pecuária. Além dessa atividade, foram definidos outros cinco setores críticos, a saber: agricultura, abate de bovinos, fabricação de minerais não metálicos, siderurgia e transporte terrestre. Observou-se que os maiores emissores possuem, em geral, elevada emissão direta e a jusante da cadeia, enquanto os menores emissores possuem maiores impactos induzidos pela renda e a montante de suas cadeias produtivas. Com foco nas

maiores emissões, foi visto que os coeficientes de emissão, em regra, elevaram-se ao longo do tempo, indicando regressão tecnológica e agravamento dos seus impactos ambientais.

Comparando distintas dimensões da exposição da economia brasileira aos setores de elevada emissão de GEEs, verificou-se que a exposição externa é a mais elevada, bem como aquela que mais se acentua, devido principalmente à siderurgia e à agricultura. Esses resultados dialogam com as literaturas sobre o crescimento restrito pelo balanço de pagamentos e a reprimarização da pauta exportadora. Deste modo, a necessidade de uma transição climática agrava a vulnerabilidade externa do Brasil, dada a sua estrutura produtiva. Ainda que seja essencial ponderar que o volume de reservas internacionais acumuladas pelo país nas últimas décadas seja um fator que atenue esse problema e que pode ser um instrumento para viabilizar a transição climática e manter, simultaneamente, a estabilidade macroeconômica.

Por outro lado, as demais dimensões selecionadas (valor adicionado, arrecadação tributária, salário e emprego) estão em patamar percentual bem inferior, ainda que relevantes, e com relativa estabilidade nos dez anos analisados. A pecuária, apesar de ser o maior emissor, possui reduzido impacto na maior parte das dimensões estudadas, exceto do ponto de vista da geração de emprego, ainda que mesmo sob essa ótica a exposição esteja caindo, de maneira que o desincentivo dessa atividade não irá gerar tanto prejuízo para a economia nacional, comparando-se com os demais setores críticos. As duas atividades definidas como críticas que mais possuem impacto em todas as dimensões são a siderurgia e a agricultura; esta última se destaca por apresentar impactos crescentes na maior parte dos casos, e de forma mais aguda sobre as exportações líquidas, considerada a dimensão mais crítica.

Este conjunto de estimativas sobre o papel exercido pelos setores com maiores emissões de GEEs sobre a estrutura da economia brasileira busca contribuir com as bases empíricas para a formulação de estratégias de políticas públicas voltadas ao avanço de uma transformação estrutural orientada para a transição para uma economia

de baixas emissões, que, ao mesmo tempo, considerem os possíveis impactos negativos em diversos aspectos macroeconômicos gerados por essa estratégia, com vistas a minimizá-los. Nesse sentido, deve-se atentar principalmente para o saldo comercial e, portanto, a estabilidade cambial e das reservas internacionais.

REFERÊNCIAS

ALVES-PASSONI, P.; FREITAS, F. Como deflacionar matrizes insumo-produto? Uma proposta de uma série deflacionada para o Brasil no SCN 2010. Rio de Janeiro: IE/UFRJ, 2022. (Texto para Discussão 30/2022)

ANDERSSON, Malin; BACCIANTI, Claudio; MORGAN, Julian. Climate change and the macro economy. Frankfurt: European Central Bank Occasional Paper, No. 243, 2020.

ARRAES, Ronaldo A.; DINIZ, Marcelo B ; DINIZ, M. J. . Curva Ambiental de Kuznets e Desenvolvimento Econômico Sustentável. Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 44, p. 525-459, 2006.

BATTEN, Sandra. Climate change and the macroeconomy: a critical review. Bank of England: Staff Working Paper No. 706, 2018.

CACHOLA, Celso da Silveira; PACCA, Sérgio Almeida. Emissões de carbono das famílias brasileiras por meio da POF e da matriz de insumo-produto. Ambiente & Sociedade, v. 26, p. e0039, 2024.

CAMPOS, Elizama do Nascimento Oliveira. Exportações e crescimento econômico: uma análise para as economias asiáticas e latino-americanas (1995-2017). 2020. 81 f. Tese (Doutorado em ciências econômicas) – Niterói: Universidade Federal Fluminense, 2020.

Da Silva, F. M. Sirene (versão 0.0.20) [Software]. 2024b. Disponível em https://pypi.org/project/sirene/

GHANDI, Ved P. et al. Macroeconomics and the Environment. International Monetary Fund. 1995.

GIAMBIAGI, Fabio; VILLELA, André; CASTRO, Lavínia Barros de; HERMAN, Jenifer. Economia Brasileira Contemporânea: 1945-2010. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

HASSLER, John; KRUSELL, Per; OLOVSSON, Conny. The macroeconomics of climate change: Starting points, tentative results, and a way forward. Washington, DC: Peterson Institute for International Economics, 2024.

HILGEMBERG, E. M. ; GUILHOTO, J. J. M. . Uso de combustíveis e emissões de CO2 no Brasil: Um modelo inter-regional de insumo-produto. Nova Economia (UFMG. Impresso), Minas Gerais, v. 16, n.1, p. 49-99, 2006.

KALECKI, M. (1977 [1954]) Teoria da dinâmica econômica: Ensaio sobre as mudanças cíclicas e a longo prazo da economia capitalista São Paulo: Nova Cultural, 1977.

LEONTIEF, W., Ford, D., 1970. Environmental repercussions and the economic structure: an input–output approach. Review of Economics and Statistics 52 (3), 262–271

LEONTIEF, Wassily W. The structure of American economy, 1919-1939: as empirical application of equilibrium analysis. New York: Oxford University Press. 2 ed., 1966.

MAGACHO, G. et al. Macroeconomic exposure of developing economies to low-carbon transition. World Development, v. 167, p. 106231, 1 jul. 2023.

MAGALHÃES, Aline S. ; DOMINGUES, E. P. . Economia de Baixo Carbono no Brasil: Alternativas de Políticas, Custos de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa e Impactos sobre as Famílias. In: XLI Encontro Nacional de Economia, 2013, Foz do Iguaçu. Anais do XLI Encontro Nacional de Economia, 2013.

MARQUES, Luiz. **O decênio decisivo: propostas para uma política de sobrevivência**. Editora Elefante, 2023.

MCTI. 6ª Edicão das Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa. 2022.

MCTI. Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa - Relatório de Referência - Setor Agropecuária. Brasil, nov. 2020a. Projeto BRA/16/G31.

MCTI. Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa - Relatório de Referência - Setor de Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU). Brasil, set. 2020b. Projeto BRA/16/G31.

MCTI. Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa - Relatório de Referência - Setor Energia - Subsetor Queima de Com- bustíveis - Abordagem Setorial. Brasil, ago. 2020c. Projeto BRA/16/G31.

MCTI. Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa - Relatório de Referência - Setor Resíduos. Brasil, set. 2020d. Projeto BRA/16/G31.

MCTI. Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa - Relatório de Referência - Setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (LULUCF). Brasil, nov. 2020e. Projeto BRA/16/G31.

MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. Input–Output Analysis. Foundations and Extensions. Cambridge: Cambridge University Press, 3ª ed. 2022.

MONTOYA, Marco Antonio; PASQUAL, Cássia Aparecida; LOPES, Ricardo Luis; GUILHOTO, Joaquim José Martins. Consumo de energia, emissões de CO2 e a geração de renda e emprego no agronegócio brasileiro: uma análise insumo-produto. **Economia Aplicada**, v. 20, n. 4, p. 383-412, 2016.

ROMEIRO, Ademar Ribeiro. Economia ou Economia Política da Sustentabilidade. In: Peter May. (Org.). Economia do Meio Ambiente. Teoria e Prática. 3aed.Rio de Janeiro: Campus, 2018, v. , p. 4-36.

SILVA, Kalinka Martins da; OREIRO, José Luis; TEIXEIRA, Daniel Moura da Costa. Mudanças climáticas, emissão de gases do efeito estufa e a contribuição do Brasil no período de 2000-2020. PAP, Santa Maria, v. 8, e88650, 2024.

SILVA, Marcos Paulo Novais; PEROBELLI, Fernando Salgueiro. Efeitos tecnológicos e estruturais nas emissões brasileiras de CO2 para o período 2000 a 2005: uma abordagem de análise de decomposição estrutural (SDA). Estudos Econômicos (USP. Impresso), v. 42, p. 307-335, 2012.

TAUSCH, Luca; MAGACHO, Guilherme. Challenges in the Transition to a Low-Carbon Economy for Developing Countries: Estimating Capital-Use Matrices and Imported Needs. Agence Française de Développement, 2024.

WIEDMANN, Thomas. A review of recent multi-region input–output models used for consumption-based emission and resource accounting. Ecological Economics 69, 2009, p. 211–222.