



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

Carlos Eduardo Lopes de Oliveira

Trajetórias Críticas de Emissões de Gases de Efeito Estufa na Estrutura
Produtiva Brasileira: Uma Análise Insumo-Produto (2010-2019)

Rio de Janeiro

2024

Carlos Eduardo Lopes de Oliveira

Trajétórias Críticas de Emissões de Gases de Efeito Estufa na Estrutura
Produtiva Brasileira: Uma Análise Insumo-Produto (2010-2019)

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Economia da
Universidade Federal do Rio de Janeiro,
como requisito para a obtenção do título de
Mestre.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Julia Ferreira
Torracca-Chispino
Coorientador: Prof. Dr. Kaio Glauber Vital
da Costa

Rio de Janeiro

2024

Ficha catalografica

CIP - Catalogação na Publicação

L864t Lopes de Oliveira, Carlos Eduardo
Trajetórias Críticas de Emissões de Gases de Efeito Estufa na Estrutura Produtiva Brasileira: Uma Análise Insumo-Produto (2010-2019) / Carlos Eduardo Lopes de Oliveira. -- Rio de Janeiro, 2019. 71 f.

Orientadora: Julia Ferreira Torracca-Chispino.
Coorientador: Kaio Glauber Vital da Costa.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Economia, Programa de Pós-Graduação em Economia, 2019.

1. Estrutura produtiva . 2. Mudança Estrutural.
3. Economia de baixo carbono. 4. Insumo-produto. I. Torracca-Chispino, Julia Ferreira, orient. II. Vital da Costa, Kaio Glauber, coorient. III. Título.

Carlos Eduardo Lopes de Oliveira

Trajelórias Críticas de Emissões de Gases de Efeito Estufa na Estrutura
Produtiva Brasileira: Uma Análise Insumo-Produto (2010-2019)

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Economia da
Universidade Federal do Rio de Janeiro,
como requisito para a obtenção do título de
Mestre.

Rio de Janeiro, 19 de dezembro de 2024.

Prof^a. Julia Ferreira Torracca-Chrispino - Orientadora
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Prof. Kaio Glauber Vital da Costa – Coorientador
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Prof^a. Claude Adélia Moema Jeanne Cohen – Membro Externo
Universidade Federal Fluminense (UFF)

Dr. Thiago de Holanda Lima Miguez – Membro Externo
Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES)

Dedico este trabalho a Zélia dos Santos Silva (*in memoriam*) por todo o amor e carinho que me deu.

AGRADECIMENTOS

Esse trabalho, apesar de ser individual, foi fortemente influenciado por todos que me rodearam durante esses anos de mestrado.

Primeiramente, agradeço aos meus pais, Alaci Lopes de Oliveira e Marco Antônio Souza de Oliveira, que sempre me apoiaram a seguir me aperfeiçoando, estudando e a trilhar meus caminhos. Sem eles, esse trabalho não seria possível.

Agradeço ao apoio familiar dado pelo meu irmão Caio César, juntamente com minha cunhada Fernanda Santa Rosa, minhas primas Amanda e Helena Lopes e minhas tias Ana Lúcia e Nilda Helena.

Agradeço aos meus amigos de fora do instituto de economia (IE), que não irei citar nominalmente para não correr o risco de ser injusto e acabar deixando alguém de fora, pois todos os momentos de distração e risadas foram igualmente importantes para que pudesse continuar a me dedicar à essa pesquisa.

Agradeço aos meus queridos amigos Daniel Nadai, Gustavo Costa, Laura Ladeia, Lucas Afflalo, Marina Bastos e Thalita Borges, que me acompanharam nessa dura jornada, desde as matérias do ciclo obrigatório até essa fase final. Uma menção mais que especial à minha amiga Isabela Duarte, que antes mesmo da entrada no mestrado, durante a fase de preparação para ANPEC nos terríveis tempos pandêmicos, foi sempre uma amiga muito presente e parceira.

Agradeço à minha orientadora Julia Torracca pelo apoio e paciência na construção dessa pesquisa, juntamente com o professor Kaio Costa.

Agradeço também a CAPES pelo apoio financeiro durante o mestrado.

Por fim, agradeço a corpo docente e de funcionários do IE, uma instituição que sempre foi tão receptiva comigo e da qual tenho orgulho de ter feito parte.

RESUMO

Existem diversas perspectivas teóricas que explicam a relação entre crescimento e desenvolvimento econômico. Dentro de alguma dessas correntes, a visão estruturalista preconiza que a estrutura produtiva das economias é um elemento central na explicação dos resultados obtidos por diferentes economias em termos de posição no mercado internacional, trajetórias de desenvolvimento e crescimento dentre outros elementos. Em alguma medida, economias que conseguiram promover um desenvolvimento industrial sustentado ao longo dos períodos certamente se diferenciam daquelas que não conseguiram em razão de características específicas que o setor industrial possui. No entanto, esse desenvolvimento industrial não se estabeleceu desacoplado de impactos ambientais severos, estando fortemente associado a maiores níveis de emissões de gases de efeito estufa (GEE), fenômeno que hoje está no centro do debate sobre mudanças climáticas. A partir dessa contextualização teórica sobre a importância da estrutura produtiva em alcançar trajetórias de desenvolvimento que estejam alinhadas à construção de uma economia de baixo carbono, nesse trabalho foi feita uma análise do caso brasileiro com o objetivo de verificar como as relações intersetoriais, entre os anos de 2010 e 2019, se comportaram em termos de propagação indireta de emissões de GEE através das cadeias produtivas. Para tanto, primeiramente faz-se a discussão de como o padrão de produção, inserção internacional e padrão de emissões de carbono se correlacionam na história econômica do país, para posteriormente realizar uma análise específica das emissões por setor econômico e, por fim, uma análise de indicadores de encadeamento que visam traçar o perfil de emissões indiretas que ocorrem por meio das relações intersetoriais a partir da matriz insumo-produto brasileira ambientalmente estendida para o período 2010 a 2019. Conclui-se que setor da agropecuária e de transporte são importantes *drivers* de emissão indiretas através das cadeias produtivas que participam, o que já era esperado decorrente do padrão de emissão brasileiro especializado em atividades primárias. No entanto, o que esse trabalho traz de contribuição é que alguns setores da manufatura e da indústria extrativa, que não são tão relevantes quanto esses setores nas emissões brasileiras absolutas, também são vetores de emissões indiretas, ajudando a difundir as emissões através das cadeias produtivas. Isso abre espaço para realizar discussões de como a indústria, em sentido amplo, pode contribuir tanto para o desenvolvimento econômico, quanto para a construção de uma economia de baixo carbono.

Palavras-chave: Estrutura produtiva; Mudança estrutural; Economia de baixo carbono; Insumo-produto.

ABSTRACT

There are various theoretical perspectives that explain the relationship between economic growth and development. Within some of these approaches, the structuralist perspective emphasizes that the productive structure of economies is a central element in explaining the outcomes achieved by different economies in terms of their position in the international market, development and growth trajectories, among other aspects. To some extent, economies that have managed to promote sustained industrial development over time certainly differ from those that have not, due to specific characteristics of the industrial sector. However, this industrial development has not occurred without severe environmental impacts, being strongly associated with higher levels of greenhouse gas (GHG) emissions—a phenomenon that is now at the center of the debate on climate change. Based on this theoretical contextualization of the importance of the productive structure in achieving development trajectories aligned with building a low-carbon economy, this work analyzed the Brazilian case to examine how intersectoral relationships between 2010 and 2019 behaved in terms of indirect GHG emission propagation through production chains. To this end, the study first discusses how production patterns, international insertion, and carbon emission patterns are correlated in the country's economic history. It then performs a specific analysis of emissions by economic sector and, finally, an analysis of linkage indicators aimed at outlining the profile of indirect emissions occurring through intersectoral relationships using the environmentally extended Brazilian input-output matrix for the 2010–2019 period. The study concludes that the agriculture and transportation sectors are significant drivers of emissions indirectly through the production chains in which they participate. This was expected, given Brazil's emission pattern, which is specialized in primary activities. However, the contribution of this work is to show that some sectors of manufacturing and extractive industries, which are not as relevant as these sectors in absolute Brazilian emissions, are also vectors of indirect emissions, helping to spread emissions through production chains. This opens up space for discussions on how industry, in a broad sense, can contribute both to economic development and to building a low-carbon economy.

Keywords: Productive structure; Structural change; Low-carbon economy; Input-output.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Participação de grupos de países selecionados no valor adicionado da manufatura mundial em termos percentuais	13
Figura 2: Associação entre participação da manufatura no PIB e participação das atividades industriais nas emissões totais ano de 2020	22
Figura 3: Composição das emissões totais em Mt de CO ₂ eq. de grandes setores brasileiros em 2010, 2015 e 2019	59
Figura 4: Intensidade de emissões por grande setor, em milhões de toneladas de CO ₂ equivalente por real (R\$), em 2010, 2015 e 2019	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Média de composição de emissões totais de Mt de CO ₂ eq por subsetor, grande setor e grupo industrial para a economia brasileira em 2019	62
Tabela 2: Intensidade de emissões por subsetor, em milhões de toneladas de CO ₂ equivalente por real (R\$), em 2019	63
Tabela 3: Indicador de APL-FL médio entre os anos de 2010 e 2019.....	65
Tabela 4: Indicador de APL-BL entre os anos de 2010 e 2019	67
Tabela 5: Categorização dos comprimentos de emissões em média entre 2010 e 2019 por subsetor, grande setor e grupo industrial da economia brasileira ..	68

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	2
CAPÍTULO 1 - PROCESSO DE MUDANÇA ESTRUTURAL, DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL E IMPACTOS EM TERMOS DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA.....	5
1.1. Mudança estrutural e o processo de desenvolvimento das economias.....	5
1.2. Transição estrutural para uma economia de baixo carbono.....	17
CAPÍTULO 2 - METODOLOGIA.....	30
2.1. Mecanismos de análise de emissões advindos da estrutura produtiva.....	30
2.2. Fundamentação teórica das metodologias insumo-produto.....	34
2.3. <i>Average Propagation Length</i> e a Matriz Insumo Produto.....	38
CAPÍTULO 3 - ANÁLISE DO PADRÃO DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA DA ESTRUTURA PRODUTIVA BRASILEIRA.....	45
3.1. Estrutura produtiva, inserção comercial e padrão de emissões do Brasil.....	45
3.2. Emissões de carbono por setor: o caso brasileiro.....	55
3.3. Comprimento de emissões de CO ₂ na estrutura produtiva brasileira.....	64
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	71
REFERÊNCIAS.....	76
APÊNDICE A: INDICADOR DE APL-FL MÉDIO ENTRE OS ANOS DE 2010 E 2019 (67 SUBSETORES).....	85
APÊNDICE B: INDICADOR DE APL-BL MÉDIO ENTRE OS ANOS DE 2010 E 2019 (67 SUBSETORES).....	88

1. INTRODUÇÃO

A relação entre os indivíduos e o clima não é um tema novo na literatura. Montesquieu (1715) em *The Spirit of Laws* afirmava que indivíduos em diferentes extremos de temperatura agiam de maneiras distintas. Huntington (1915), ao escrever sobre o impacto do clima sobre a civilização, menciona que produção de bons frutos depende de três igualmente importantes fatores: estoque, cultivo adequado e condições climáticas favoráveis. Dell, Jones e Olken (2012) afirmam que Huntington (1915), ao documentar que elevadas temperaturas levaram à queda de produtividade em trabalhadores em fábricas de Connecticut, foi um dos pioneiros em elaborar ideias de desenvolvimento econômico que relacionam produtividade e temperatura.

Atualmente, o debate sobre as elevadas temperaturas que a Terra registra está inserido no contexto das mudanças climáticas. As formas de resolução e mitigação dessa problemática estão no centro de qualquer tipo de discussão sobre o futuro da humanidade. O que se sabe é que as atividades humanas contribuíram para o aumento de emissões de gases de efeito estufa (GEE) que levaram ao aquecimento global. Uma consequência direta é a temperatura global estar 1,1°C acima da média entre os anos 1850-1900 em 2011-2020. (IPCC, 2023)

É inequívoco afirmar que as formas de produção são uma das responsáveis pelas mudanças climáticas. Isso acontece em razão da forma com que o desenvolvimento econômico ocorreu, em que preocupações relativas à conservação do meio ambiente, como menores níveis de emissões de GEE e poeiras tóxicas, preservação ambiental dentre outros elementos que não foram devidamente considerados em toda a sua dimensão potencial de impacto. A partir disto, um possível questionamento que pode ser feito é: seria possível conciliar a questão produtiva com menores níveis de emissão de GEE?

Antes de introduzir essa discussão, é necessário mencionar que um dos fatores que pode explicar as diferenças nos níveis de renda, emprego, posicionamento no comércio internacional, trajetórias de crescimento e desenvolvimento, e outros elementos caracterizadores das diferenças entre países desenvolvidos e em desenvolvimento é o setor industrial. O mundo moderno é totalmente influenciado pelas Revoluções Industriais. A expansão da indústria levou a um crescimento econômico sustentado por longos períodos na Europa e nos Estados Unidos, possibilitando que alguns países, considerados de renda média ou até mesmo baixa

durante grande parte de sua história, passassem pelo processo de "*catching up*" (Rodrik, 2016).

Por esse motivo, há uma literatura abundante destacando o setor industrial como um elemento crucial do desenvolvimento, especialmente as atividades ligadas à manufatura. Produtos com elasticidade renda alta, maior capacidade de geração e difusão de tecnologia e inovação, níveis mais elevados de produtividade e a criação de capacidades organizacionais são exemplos comumente citados em apoio à transferência de mão de obra de outros setores econômicos para a indústria. Outra característica notável desse setor, que será explorada neste trabalho, é sua capacidade de gerar externalidades positivas para outros setores da economia por meio de seus altos níveis de encadeamento (Pires Nassif, Teixeira e Rocha, 2015).

Dentro da perspectiva teórica estruturalista, que destaca a importância de uma estrutura produtiva como fator relevante para o desenho de trajetórias de desenvolvimento, esse trabalho contemplará uma discussão de quais caminhos devem ser construídos para que economias possam se tornar mais resilientes e não intensivas em emissão de GEE. Em seguida, será tratado o caso brasileiro, em que será descrito como o país se comportou em termos de estrutura produtiva, inserção comercial e padrão de emissões levando em consideração os encadeamentos e as relações intersetoriais, tendo um retrospecto da segunda metade do século XX até tempos mais recentes e uma análise sobre suas emissões entre os anos de 2010 e 2019.

Uma das justificativas da relevância desse tópico é que o Brasil está entre os maiores emissores globais absolutos. Em dados relativos ao ano de 2020, o Brasil foi considerado o sexto maior poluidor climático, com 3% do total global, ficando atrás de China, Estados Unidos, Índia, Rússia e Indonésia. Se a União Europeia for tratada como um país, o Brasil se torna o sétimo maior emissor (SEEG, 2023).

Assim, o objetivo principal dessa dissertação é verificar como as relações intersetoriais da economia brasileira, entre os anos de 2010 e 2019, se comportaram em termos de propagação indireta de emissões de GEE através das cadeias produtivas. Para isso, será analisado como as cadeias produtivas e o padrão de emissões decorrentes da atividade econômica se relacionam, utilizando para tanto o instrumental de matrizes insumo produto ambientalmente estendidas que incorporam vetores de emissão.

Para isso, o trabalho se apresenta em três capítulos. O primeiro, dividido em duas seções, compilará o referencial teórico sobre a relação entre o processo de mudança estrutural e desenvolvimento econômico, destacando a importância do setor industrial, e quais são as contradições deste modo de desenvolvimento com as preocupações sobre emissões de GEE. O segundo é um capítulo eminentemente metodológico que discorre sobre as diferentes formas metodológicas relativas às análises de emissões decorrentes da atividade econômica, para em seguida realizar uma revisão dos principais indicadores utilizados no instrumental metodológico de matriz insumo-produto e como isso pode incluir a dimensão de emissões. A terceira seção do capítulo foca na formalização matemática do indicador de encadeamento que será proposto e quais são suas interpretações.

O terceiro e último capítulo contém a análise do caso brasileiro que, por sua vez, se subdivide em três seções. A primeira trata da relação da história econômica brasileira desde a segunda metade do século XX até tempos mais recentes, buscando identificar como o padrão de emissões se relaciona com a estrutura produtiva e inserção comercial do país. A segunda joga luz sobre estatísticas descritivas relativas à composição das emissões brasileiras absolutas e por intensidade das diferentes atividades econômicas entre os anos de 2010 e 2019. A terceira traz os resultados dos indicadores de comprimento de emissões calculados para o mesmo período em questão. Por último, encontra-se o capítulo de conclusões do trabalho.

CAPÍTULO 1 - PROCESSO DE MUDANÇA ESTRUTURAL, DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL E IMPACTOS EM TERMOS DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA

Esse capítulo tem como objetivo mapear as diferentes perspectivas teóricas que conectem as dimensões relacionadas à estrutura produtiva com diferentes padrões de emissões de GEE, a fim de contribuir para a compreensão dos desafios por detrás dos objetivos de redução de emissões decorrentes das atividades produtivas. Para atender a esse propósito, esse capítulo está dividido em duas seções. A primeira trata da relação teórica entre a estrutura produtiva das economias e o processo de desenvolvimento econômico, resgatando alguns dos autores clássicos que discutem as trajetórias que os países hoje considerados desenvolvidos percorreram. Será discorrido, sobretudo, como o conceito de mudança estrutural e o processo de industrialização estão relacionados. Já a segunda seção demonstrará as contradições desse processo de desenvolvimento industrial com as questões relativa à redução dos níveis de emissão de CO₂ e de como o processo de descarbonização das economias pode ter como norte o avanço da indústria com novas propriedades como, por exemplo, a baixa intensidade em carbono.

1.1. Mudança estrutural e o processo de desenvolvimento das economias

Crescimento e desenvolvimento econômico são temas que percorrem a literatura econômica há pelo menos um século, sendo fenômenos que estão intrinsecamente conectados, com diversas óticas pelas quais podem ser observados. Lewis (1954) afirma que a gênese do conceito de desenvolvimento econômico já estava sendo trabalhada no século XVIII, em que este era entendido como “partes da economia” que desempenhavam papéis cruciais para explicar o crescimento da economia como um todo.

A partir da hipótese de que a economia está segregada em três setores - primário, secundário e terciário -, Kruger (2008) discorre sobre como o desenvolvimento de longo prazo se dá. O setor primário engloba atividades agrícolas e afins que são necessárias para atender as necessidades básicas de uma sociedade,

como a exploração de recursos naturais. O setor secundário produz bens de consumo e de investimento, além de mão de obra. Assim, ele abrange principalmente atividades econômicas relacionadas à manufatura e à construção. Por fim, o setor terciário fornece os mais diversos serviços.

Kruger (2008) postula então que haveria uma sucessão sistemática entre os setores, em que cada etapa do desenvolvimento um setor teria maior destaque. Nas fases iniciais, o setor primário é dominante, tanto em termos de número de pessoas empregadas quanto na fração do valor adicionado total na economia. Em seguida, com o advento da industrialização, o setor secundário começaria a ganhar importância às custas do setor primário, enquanto o setor terciário permaneceria estagnado. Mais tarde, com o processo de desenvolvimento econômico, a mão de obra e o valor adicionado começam a migrar dos setores primário e secundário para atividades no setor terciário. No final, a maioria das pessoas estaria empregada no setor terciário, que também gera a maior parte do valor adicionado. (Kruger, 2008)

Já Syrquin (1988) define desenvolvimento econômico como o conjunto de processos de transformação da estrutura econômica de longo prazo que acompanham o crescimento econômico. O autor utiliza o termo "estrutura" para referir-se à importância relativa dos setores na economia em termos de produção e uso de fatores. Dessa maneira, conforme posto por Nassif-Pires (2013), uma síntese desses conceitos seria de que o crescimento poderia ser visto como uma elevação no produto sem necessariamente estar atrelado a mudanças qualitativas de uma economia¹, enquanto desenvolvimento requer a condição de crescimento associado a transformações produtivas, sociais e institucionais.

Neste trabalho, entende-se que crescimento *per se* não é condição suficiente para promover desenvolvimento econômico. O que é necessário para que este fenômeno se manifeste é o processo de mudança estrutural, que de acordo com Syrquin (1988) seria o cerne de toda contribuição teórica sobre desenvolvimento econômico. Esse fenômeno é caracterizado por mudanças setoriais, transferência da força de trabalho de setores com baixas taxas de produtividade para os que possuem

¹ Exemplificando melhor o que seriam essas mudanças qualitativas, é possível resgatar as ideias Schumpeter (1912), um dos pioneiros em estudos sobre desenvolvimento econômico. O autor afirma que crescimento decorrente do aumento da população ou da renda são mudanças qualitativas que não constituem desenvolvimento econômico, já que não suscita nenhuma qualitativa. Para Schumpeter, o processo de desenvolvimento altera o fluxo circular da renda e o amplia, além de ser uma mudança espontânea, descontínua e permanente. (Pires-Nassif, 2013)

elevada produtividade, diversificação produtiva e acumulação de diferentes tipos de capacidade. Isso poderá proporcionar mudanças na demanda, emprego, renda e nas diferentes dimensões institucionais.

Carvalho (2010) afirma que o entendimento sobre mudança estrutural como uma condição necessária para o crescimento econômico foi um tema presente nas visões pioneiras sobre desenvolvimento. Conforme destacado por Cimoli (2005, p. 10², apud CARVALHO, 2010, p. 28), essa visão de desenvolvimento foi sendo apagada por contribuições teóricas que se concentravam na criação de modelos de crescimento econômico com base em funções de produção agregadas que, em razão do aporte teórico, desconsideravam diferenças setoriais. De acordo com a autora, a composição estrutural de uma economia só voltou a ter espaço no debate teórico durante a década de 1980, em que agendas de pesquisa ligadas à inovação tecnológica despontaram.

Para obter uma melhor compreensão de como diferentes correntes teóricas tratam desses fenômenos – crescimento e desenvolvimento –, é necessário visualizar qual a importância das atividades e setores econômicos em diferentes perspectivas teóricas. Palma (2014) faz um exercício de categorização de três correntes baseadas em diferentes vertentes. A primeira são os modelos caracterizados por serem “atividade e setor indiferente”, isto é, o crescimento não depende diretamente da composição setorial e nem das diferentes atividades econômicas. O segundo campo considera o crescimento como “indiferente ao setor”, mas leva em consideração qual a natureza das atividades que compõe esse fenômeno. No terceiro campo teórico estariam escolas que enfatizam ambas as dimensões (setores e atividades), tendo como importante exemplo a escola estruturalista.

O arcabouço teórico estruturalista é uma das principais correntes que destacam o protagonismo da composição e diversidade setorial das economias, tendo uma argumentação favorável na direção de uma transformação na estrutura produtiva a favor da manufatura para superação da condição de subdesenvolvimento. Nela se integram outras perspectivas teóricas como a keynesiana e schumpeteriana que preconizam a importância de atividades que tradicionalmente são mais dinamizadoras e capazes de difundir o progresso técnico. Nesse caso, uma das hipóteses basilares é a relevância do processo de industrialização que, por sua vez, requer uma realocação da produção de setores de baixa produtividade para setores que possuem

² CIMOLI, M. Structural heterogeneity, technological asymmetries and growth in Latin America. In: ECLAC's Publications LC/W.35, p. 1-162, 2005.

elevada produtividade e retornos crescentes de escala (Gala, Rocha e Magacho, 2018).

Existem uma gama de trabalhos que buscaram estabelecer relações entre estrutura produtiva, mudança estrutural e crescimento econômico. Carvalho (2010) lista alguns dos trabalhos seminais que se concentraram em encontrar padrões de mudança estrutural que pudessem ser aplicados a diferentes países em diferentes momentos do tempo, como de Sutcliffe (1971)³ que afirmava que analisar os padrões de crescimento industrial permitem inferir sobre os tipos de mudança econômica que são gerados, Kuznets (1957)⁴, ao utilizar dados de países desenvolvidos agrupados segundo níveis de renda per capita, demonstrou que durante um período específico conforme a renda crescia, havia declínio da parcela agrícola na produção nacional e aumento consistente da parcela da indústria e outros.

Dentro desse espectro que entende a mudança estrutural como um elemento fundamental para os processos de crescimento e desenvolvimento, é possível afirmar que os autores que compõe esse grupo defendem que a composição setorial da produção e do emprego importam e que não devem ser levados em conta apenas os níveis de produtividade em um determinado momento, mas sim o seu potencial para aumentos cumulativos de produtividade que se constroem em um círculo virtuoso de longo prazo (Cramer e Tregenna, 2020).

A importância do setor manufatureiro pode ser explicada em diversos aspectos, já que desde a Revolução Industrial este setor tem beneficiado os países em que o desenvolvimento industrial se deu por completo. Andreoni e Tregenna (2020) listam alguns dos argumentos mais comumente utilizados na defesa da manufatura: (1) produtos da manufatura são mais comercializáveis e com maiores elasticidade renda, logo, podem ser mais competitivos no mercado internacional e aliviar as restrições do balanço de pagamento das economias; (2) espaço em que é mais favorável para ocorrência de progresso tecnológico, tanto por inovações geradas pelo próprio setor como na absorção quando gerada por outros setores; (3) existência de retornos crescentes de escala e maior espaço para aumentos cumulativos de produtividade do que em outros setores; (4) capacidade de difusão de inovações organizacionais e

³ SUTCLIFFE, R. B. *Industry and underdevelopment*. London: AddisonWesley Publishing Company, 1971.

⁴ KUZNETS, S. *Quantitative aspects of the economic growth of nations, Part II*. In: *Economic Development and Cultural Change*, v. 5 (Suplemento), July 1957.

desenvolvimento de capacidades; (5) por fim, mencionam-se os elevados efeitos de encadeamentos que este setor possui com o restante da economia. Essa característica confere ao setor manufatureiro uma capacidade de impulsionar o restante da economia por meio de externalidades positivas e do aprofundamento das economias de escala na economia doméstica. (Cramer e Tregenna, 2020)

Em razão das características levantadas do setor industrial e da elevada correlação que este setor possui com países que são considerados desenvolvidos, pode-se dizer que na maior parte do século XIX e XX, “industrializados” e “ricos” eram considerados sinônimos. Portanto, não é inequívoco afirmar que aqueles que teorizavam sobre desenvolvimento econômico viam um papel de destaque da industrialização e do comércio como garantidores dessa dinâmica (Baldwin, 2011). Jesus, Mehta e Rhee (2014), ao compartilharem dessa mesma premissa, tentam responder se existem exemplos relevantes de economias desenvolvidas que não alcançaram esse patamar sem promover setores industriais em algum momento de sua história. Ao explorarem essas relações entre desenvolvimento econômico, produção e emprego, encontram que todas as economias que hoje são ricas em algum momento dos últimos 40 anos desfrutaram de elevadas porcentagens de emprego na indústria de transformação; enquanto apenas algumas poucas economias que atingiram elevadas porcentagens de emprego na indústria não se tornaram economias ricas. Portanto, o emprego na manufatura teria sido uma condição necessária, apesar de não suficiente para eventual prosperidade.

Hirschman (1958) é um dos pioneiros em ressaltar a importância da estrutura produtiva de uma economia, em particular das relações intersetoriais a partir de matrizes insumo-produto. O autor afirma que a ideia de desenvolvimento se afasta do conceito de equilíbrio da economia neoclássica devido aos efeitos induzidos de economias externas e complementaridades entre os setores. Contudo, é ressaltado que essa interdependência não é apenas via demanda derivada, em que a demanda por um produto A leva a um aumento da demanda pelo bem ou serviço B, e sim que a produção de uma mercadoria induz, em razão da complementaridade da produção, uma mudança da escala de produção em outros setores. Em termos mais gerais, essas relações intersetoriais significam que o aumento produção de A levará a uma pressão para aumentar a disponibilidade de oferta de B. Dessa maneira, há uma pressão para maior produção do bem ou serviço B, que poderá ser via importações ou maior produção doméstica.

Hirschman (1958) denomina essas relações de complementariedade e indução na produção como encadeamentos que podem ser observados por meio de duas perspectivas. Primeiro, existe o encadeamento para trás (*backward linkages*), em que uma atividade econômica induzirá a produção de insumos necessários para aquela atividade, isto é, um setor localizado à jusante utiliza como insumo um produto do setor à montante. Logo, o crescimento do setor à jusante provoca diretamente pressão na cadeia produtiva dos insumos que utiliza. Em segundo lugar, existe o encadeamento para frente (*forward linkages*), em que um aumento na produtividade do setor à montante pode gerar economias externas ao setor à jusante de maneira indireta.

Ainda de acordo com Hirschman (1958), um dos graus de diferenciação entre países desenvolvidos e os em desenvolvimento é a falta de interdependência e encadeamento entre os setores destes últimos. A agricultura e atividades extrativistas em geral, sendo esses os setores predominantes em economias em desenvolvimento, possuem escassez de efeitos de encadeamento quando comparado ao setor industrial, tendo apenas o encadeamento para trás, pois necessitam de sementes, fertilizantes e outros insumos para produção. Desta maneira, esses dois setores possuem pouca capacidade de promover ciclos cumulativos de desenvolvimento em razão do seu baixo poder de encadeamento e da sua pouca capacidade de induzir investimentos, ao contrário da manufatura.⁵

Gala, Rocha e Magacho (2018), ao discorrer sobre a teoria de Hirschman (1958), apontam que esse desenvolvimento não é limitado apenas às relações físicas de oferta e demanda, mas também sobre ligações tecnológicas. Isso levou às primeiras percepções sobre o conceito de efeitos de transbordamento, que se originam da manufatura para o restante da economia e são abordados pela literatura contemporânea de desenvolvimento econômico, como as abordagens kaldorianas e neoschumpeterianas.

Durante a década de 1960, Kaldor publicou o “*Strategic Factors in Economic Development*” em que continha sua elaboração sobre as leis que denotavam a

⁵ Existe uma visão que há novas possibilidades de desenvolvimento, para além da exploração da manufatura. Deve-se aproveitar as oportunidades e especificidades de cada região e, no caso da América Latina, seria desenvolver a indústria baseada em recursos naturais. Para melhor entendimento, ver mais em: PÉREZ, Carlota. **Technological dynamism and social inclusion in Latin America: a resource-based production development strategy**. *CEPAL Review*, Santiago, n. 100, p. 121-141, abr. 2010 .

importância da manufatura. Em síntese, a primeira lei é que quanto maior for a taxa de crescimento do setor manufatureiro, maior será o crescimento do produto de uma economia. Isso acontece em razão do poder indutor de crescimento de produtividade dentro e fora da indústria. A segunda lei, também conhecida como Lei de Kaldor-Verdoon, postula que quanto maior a taxa de crescimento da produção industrial, maior será o crescimento da produtividade do trabalho. Por fim, a terceira lei é que quanto maior a taxa de crescimento da produção industrial, maior será a produtividade nos setores não industriais (Thirlwall, 2015).

Portanto, esse “círculo virtuoso de Kaldor” acontece em razão dos efeitos de transbordamento do setor industrial, que se manifesta tanto em termos de salários, quanto em termos de multiplicadores de emprego. Os salários que são gastos nos setores mais próximos à demanda final exigem por muitas das vezes a prestação de serviços, o que gera empregos indiretos. Já os multiplicadores de emprego acontecem por meio da cadeia produtiva, uma vez que a produção de um bem manufaturado requer como insumos bens intermediários e componentes derivados de outros setores. Portanto, os encadeamentos, tanto para frente quanto para trás, são cruciais para determinar o impacto real no emprego do setor industrial. Em geral, constata-se que o setor manufatureiro tem o multiplicador de emprego indireto mais alto de uma economia (Dosi, Riccio e Virgillito, 2021).

A partir dessa contextualização teórica, é possível refletir sobre a história econômica das mudanças das estruturas produtivas dos países e como isso pode ajudar a entender a economia política por detrás do processo de industrialização. Utilizando como marco temporal os acontecimentos após a 2ª Guerra Mundial, Mazat e Medeiros (2017) elaboram sobre o processo de industrialização de países periféricos. Os autores afirmam que o contexto geopolítico da Guerra Fria, sob a hegemonia dos Estados Unidos, levou uma série de países da América Latina e Ásia a seguirem o caminho do desenvolvimentismo, isto é, uma promoção das atividades industriais e melhoria de infraestrutura.

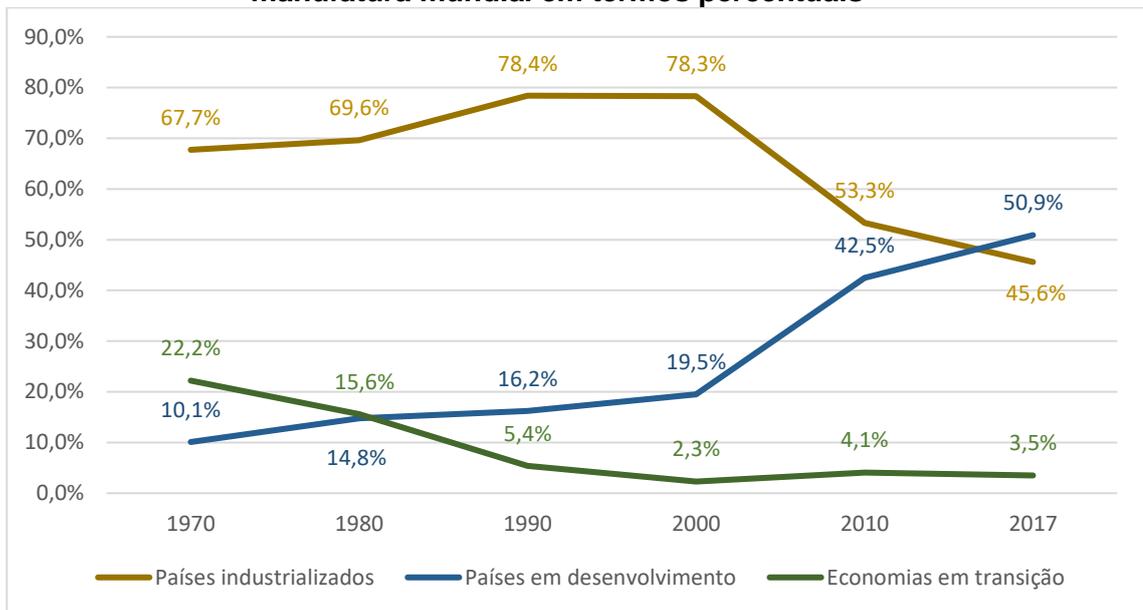
A intenção era estabelecer uma indústria moderna, sendo mais ou menos bem sucedida em cada território em razão de fatores internos e externos. Dentro dos fatores externos, existia um acesso razoavelmente fácil ao mercado dos EUA e ao financiamento internacional, que criaram condições externas para um crescimento acelerado. Os autores caracterizam esse período como “desenvolvimento por convite”, em que a estratégia americana era promover o desenvolvimento econômico

dos países aliados nas regiões de maior importância estratégica para o conflito com a União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS). Ressalta-se que a América Latina não era um dos pontos focais principais e, assim, recebeu condições externas menos favoráveis à continuação da industrialização, uma vez que nem um plano Marshall, nem uma economia regional apoiada por ajuda e acesso privilegiado aos mercados dos EUA foram disponibilizados para a região (Mazat e Medeiros, 2017).

Nayyar (2020) afirma que ocorreram três mudanças marcantes na distribuição da produção industrial na economia mundial na segunda metade do século XX. A primeira mudança refere-se às economias centralmente planejadas do leste europeu e da antiga URSS que declinaram de um elevado nível estável de produção para níveis mínimos sem precedentes. A desaceleração econômica, agravada por tensões políticas, foi uma das razões do colapso político do comunismo, e teve como consequências uma forte contração da produção total. A situação estabilizou-se após uma década de turbulência, mas a recuperação da sua participação na produção industrial mundial foi modesta.

A segunda mudança foi a emergência do Japão como um país industrializado líder. Sua participação na produção industrial mundial aumentou de 9% para 20%. Ressalta-se que essa ascensão foi uma continuação do processo iniciado por volta de 1950, em que a industrialização foi liderada pelo Estado e promovida por uma política industrial ativa. A terceira e última foi o aumento da participação dos países em desenvolvimento na produção industrial mundial, saltando de 10% para 20%. Este renascimento de industrialização no mundo em desenvolvimento pode ser visto com surpresa, já que tem um nítido contraste com o período colonial destes países em que havia baixos níveis de industrialização. (Nayyar, 2020)

Figura 1: Participação de grupos de países selecionados no valor adicionado da manufatura mundial em termos percentuais



Fonte: Elaboração própria a partir de dados de Nayyar (2020)

Já durante o século XXI, observa-se que houve uma transformação radical vista em termos de estrutura produtiva dos países em desenvolvimento. Isso acontece em razão do aumento expressivo da produção industrial da economia chinesa. Dados do Banco Mundial (2024) demonstram que o valor adicionado da manufatura em termo de percentual do PIB da China já esteve no patamar de 32% no ano de 2004, o que chega perto de ser tão expressivo quanto o que ocorreu no Reino Unido na metade do século XX. Apesar da trajetória decrescente deste indicador chinês, ainda assim no ano de 2023 ele é maior que a média mundial, estando em cerca de 26%.

Esse processo de industrialização significou o esforço para a construção de toda a cadeia produtiva em território doméstico. O custo disto, para além do financiamento, era temporal, já que adquirir conhecimentos para a construção e coordenação requer uma vasta gama de competências necessárias. Toda essa dinâmica foi fortemente influenciada pela evolução tecnológica dos meios de comunicação disponíveis à época, já que a proximidade física era necessária para coordenar processos produtivos. Isso significava que todas as etapas de produção deveriam ocorrer dentro de uma única fábrica ou distrito industrial. A maioria das competências necessárias tinham de existir internamente; nenhuma nação poderia ser competitiva sem construir uma base industrial ampla e profunda – um obstáculo que poucas nações poderiam superar. Portanto, essa evolução tecnológica levou ao fim esta situação, pois tornou

viável separar espacialmente algumas etapas da produção sem muitas perdas de eficiência ou pontualidade. (Baldwin, 2011)

No entanto, ressalta-se que esse processo de industrialização dos países periféricos não fez com que estes alcançassem os países desenvolvidos em termos de renda per capita, isto é, realizassem o processo de *catching-up*. Nos termos de Andreoni e Tregenna (2020), esses países estão na armadilha da renda média, isto é, encontram-se em situações de equilíbrio estagnado em termos de rendimento per capita e que foram incapazes de manter o crescimento econômico sustentado. Apenas 14 países de um grupo extremamente vasto com mais de 200 países conseguiram sair do status de países de renda média para alta, sendo eles a Irlanda, países do sul da Europa, alguns do Leste Asiático, conhecidos como Tigres Asiáticos, e alguns pequenos países ricos em recursos naturais na África.

Tausch e Magacho (2024) afirmam que as assimetrias tecnológicas e produtivas entre os países se materializam no padrão de especialização dos países desenvolvidos e em desenvolvimento. Os primeiros se especializam em indústrias intensivas em tecnologia, enquanto os últimos tendem a se especializar em produtos de baixo valor agregado, sendo produtos primários ou em indústrias que requerem mão de obra pouco qualificada. Uma das consequências dessa dinâmica é vista sob a ótica do comércio internacional. Países em desenvolvimento, que possuem uma estrutura concentrada em indústrias de baixa tecnologia e intensivas em recursos naturais, possuem uma demanda elevada em fatores de produção e bens de capital importados à medida que estão em fase de crescimento econômico e acumulando capacidade produtiva.

A evolução da dinâmica do setor industrial nos países periféricos e desenvolvidos podem ser observados através de duas perspectivas. A primeira é que o avanço desses países de renda média, principalmente da China, demonstra a possibilidade de industrialização e de, com isso, poder ocupar a fatia da produção das economias avançadas (Aiginger e Rodrik, 2020). Por outro lado, a produção industrial global permanece ainda muito concentrada com atividades de produção de média e alta tecnologia nos países desenvolvidos, em que existem barreiras como direitos de propriedade intelectual, instituições e capacidades tecnológica de desenvolvimento e inovação (Andreoni e Tregenna, 2020).

Ainda de acordo com Andreoni e Tregenna (2020), essa dificuldade de acompanhar o ritmo tecnológico e de inovação constituem dois desafios para os

países de média renda. O primeiro é que estes precisam desenvolver capacidades tecnológicas em diferentes “tipos de tecnologia”, já que existem uma gama de modalidades tecnológicas necessárias para absorver e adaptar as que existem e para poder modificá-las e gerar outras inovações. O segundo é que os investimentos nestas capacidades tecnológicas precisam ser cuidadosamente alocados em diferentes “estágios de desenvolvimento tecnológico”, isto é, desde as etapas iniciais de pesquisa até as finais, como comercialização e de implantação nas operações de produção e que sejam em níveis significativos suficiente para competir globalmente. Portanto, além de estarem nesta armadilha da renda média, estes países também estão na armadilha da tecnologia média.

Isso está diretamente associado ao que Hausman e Klinger (2006) afirmam que para além do maior nível de produção advindo das atividades produtivas, existe um processo de diferenciação naquilo que é produzido, isto é, eles também produzem bens e serviços ditos mais “sofisticados” que geram maiores níveis de valor adicionado. O processo de desenvolvimento envolve essa transição de produtos simples para produtos mais complexos, o que requer uma profunda transformação estrutural. Isso está fortemente relacionado à mudança nas dotações de fatores à medida que o capital físico, humano e institucional é acumulado.

Esse foco na estrutura produtiva exige a compreensão que o processo de desenvolvimento requer processos de aprendizado prático, capacitação e progresso tecnológico. Todos os países que conseguiram reduzir a lacuna tecnológica o fizeram com apoio público para esforços de aprendizado, incluindo apoio condicional que pode ser retirado se as condições não forem atendidas. A abordagem fundamentalista de mercado, que estabelece que o governo deve se manter restrito em atividades que busquem sanar falhas de mercado, está em desacordo com essa experiência. O que está posto como desafio para as economias em desenvolvimento é avançar da criação de uma estrutura produtiva com firmas competitivas de baixa tecnologia para um número crescente de firmas com tecnologia intermediária e alta, o que tem como condição uma ampla base de firmas com capacidades organizacionais básicas. (Mondliwa, Goga e Roberts, 2021)

O contexto geral da maioria dos países em desenvolvimento, em que há a necessidade do alargamento e promoção dessas competências e que isso é um processo complexo que envolve economia política, em que na maioria dos casos de países em desenvolvimento há um descompasso de objetivos entre as partes que

fazem a provisão pública de financiamento dessas capacidades e as empresas privadas. (Andreoni, Frattini e Prodi, 2024)

Dessa maneira, a importância dessas indústrias de média e alta tecnologia, que possuem essas trajetórias de capacidades, pode ser vista em razão de estarem na vanguarda do progresso tecnológico e por representarem uma fonte de efeitos colaterais e de encadeamentos com o restante da economia. Esses produtos complexos produzidos por elas são de fundamental importância para trilhar o caminho do desenvolvimento econômico em razão de suas características, como aprimoramento da competitividade industrial, aprofundamento e atualização tecnológica, investimento em pesquisa e desenvolvimento (P&D) e atividades de inovação. Em resumo, a produção intensiva em tecnologia tem importantes implicações para a criação e incremento de valor industrial, diversificação e sofisticação de produtos, e o avanço tecnológico de um país. Além disso, há ampla evidência de que empresas de alta tecnologia são tipicamente mais inovadoras, mais eficientes, pagam salários mais altos e são mais bem-sucedidas quando comparadas a empresas de baixa tecnologia (Avenyo e Tregenna, 2022).

Apesar de não ser o objetivo desta seção debater a economia política do processo que está por de trás das questões sobre desenvolvimento, ele tem alguns pontos de intercessão sobre a discussão de centro-periferia trabalhada por autores de tradição estruturalista-cepalina. O que esse grupo tem como desafio é explicar o porquê certas regiões permanecem atrasadas do ponto de vista de sua renda per capita e porque esse atraso é acompanhado por uma marcada desigualdade distributiva, tanto dentro da região atrasada quanto entre países. Uma das razões apontadas é que em um dado momento países desenvolvidos começam um intenso processo de mudanças técnicas e estruturais, com a adoção de novas tecnologias, a implantação de novos setores e a diversificação da estrutura econômica, que vai se tornando mais densa, complexa e diversificada. Esse novo padrão de estruturas produtivas dos países do centro pode explicar por que a estrutura que emerge na periferia se especializa em bens de exportação de baixa tecnologia, em que há uma noção de complementariedade no comércio entre os países desses dois distintos grupos. (Cimoli e Procile, 2011)

O que está posto nessa seção é que o processo de mudança estrutural, com realocação da mão de obra de atividades de baixa produtividade para atividades com capacidade de gerar ciclos com externalidades positivas, é um elemento central para

o desenvolvimento econômico. A hipótese dos três setores, apesar de ser extremamente simplista, demonstra didaticamente como ocorrem essas transferências intersetoriais acontecem e a partir de um background teórico estruturalista, o processo de industrialização é visto como uma das condições fundamentais para que países entrem em trajetórias de desenvolvimento e crescimento. No entanto, o que foi observado na prática é que o processo de industrialização dos países subdesenvolvidos ocorridos na segunda metade do século XX não se materializou em avanços produtivos, desenvolvimento e crescimento. Uma das razões apontadas é que dentro do setor industrial existem diferentes categorias e estes países periféricos se concentraram em indústrias pouco tecnológicas e voltadas para atividades primárias, que não foram capazes de gerar esses ciclos de desenvolvimento.

1.2. Transição estrutural para uma economia de baixo carbono

A partir do embasamento teórico sobre a relevância de uma estrutura produtiva que promova o desenvolvimento, conforme discutido na seção anterior, é crucial refletir sobre os desafios atuais, especialmente para o setor industrial. É importante considerar as novas demandas da sociedade no que diz respeito o modelo de desenvolvimento econômico que se tenha como alvo. Uma das discussões mais latentes dos últimos anos é sobre como frear os efeitos das mudanças climáticas, tendo discussões relativas a como equalizar a questão produtiva e os impactos ambientais. Avenyo e Tregenna (2022) denominam essa discussão como o “desafio duplo”, em que há um impulso crescente para o desenvolvimento industrial que, ao mesmo tempo que gera crescimento da produtividade e do emprego, especialmente nos países em desenvolvimento, em contrapartida pode levar a um aumento de níveis de emissões. Dessa maneira, compreende-se que há espaço para se discutir como a estrutura produtiva dos países pode auxiliar no alcance de menores patamares de emissão enquanto promove trajetórias de desenvolvimento.

O conceito de desenvolvimento de baixo carbono ou economia de baixo carbono possui as suas raízes no Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento que ocorreu na cidade do Rio de Janeiro em 1992 (ECO-92). No contexto dessa convenção, o desenvolvimento baseado em baixo carbono, apesar de não possuir uma definição exata, é entendido como os planos ou

estratégias nacionais de desenvolvimento econômico voltados para o futuro que abrangem um crescimento com baixas emissões e/ou resiliente ao clima (Nações Unidas, 2011). Portanto, aqui nesse presente trabalho será entendido como uma economia de baixo carbono uma estrutura produtiva em que há preocupações de mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE).

Diversos encontros e fóruns internacionais aconteceram para discutir qual papel das economias nessa transição para uma economia em baixo carbono e quais serão os esforços efetivamente realizados. Um dos mais notórios é o Acordo de Paris, um tratado internacional sobre as alterações climáticas. Assinado por 196 países na Conferência das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas (COP21) em Paris, tem como objetivo manter “*o aumento da temperatura média global bem abaixo dos 2°C acima dos níveis pré-industriais*” e prosseguir esforços “*para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais*”. (Nações Unidas, 2015)

O que se sabe no debate sobre as mudanças climáticas é que a temperatura média do planeta, entre os anos de 2011 e 2020, foi cerca de 1,1°C grau superior ao contabilizado entre os anos de 1850 e 1900. Isso decorre principalmente do uso insustentável de energia, terra e padrões de consumo e produção que como efeito colateral geram GEE. Tudo isso leva a impactos adversos generalizados e maior ocorrência de eventos extremos, como chuvas e secas mais intensas e/ou prolongadas, afetando principalmente comunidades mais vulneráveis que contribuíram proporcionalmente muito menos para essas mudanças climáticas (IPCC, 2023).

Ainda sobre o relatório das mudanças climáticas, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) (2023) revela que a inação, no que tange mudanças que visem a diminuição drástica da emissão de GEE, levará ao aumento do aquecimento global, com estimativas otimistas de ser um aumento de 1,5°C no curto prazo. Esse cenário levaria a consequências catastróficas para a própria condição de vida humana. Portanto, o único caminho a ser trilhado é aquele que busca promover reduções profundas, rápidas e sustentadas nas emissões de GEE e assim ter uma desaceleração perceptível no aquecimento global.

Essa elevada taxa de degradação dos recursos naturais e o aumento dos níveis de poluição estão levando à destruição de uma base mínima de capital natural⁶ para

⁶ Capital natural é definido como o estoque que reproduz fluxos naturais, podendo ser categorizado como renovável (i.e., árvores, peixes, bois) ou esgotáveis (i.e., minerais).

dar suporte aos processos econômicos. O impacto ambiental das ações humanas é tão forte que a atual época geológica é chamada de Antropoceno, caracterizada por uma transformação da natureza causada pelos humanos, semelhante a uma força geológica. Os efeitos sobre as economias periféricas, que possuem um padrão de especialização em produtos agrícolas e intensivos em recursos naturais, serão relativamente piores em termos de produção, quando comparado a países com especialização em produtos mais tecnológicos (GRAMKOW, 2019). Logo, a dimensão ambiental tende a perpassar questões relativas à dimensão produtiva.

Bilal e Känzig (2024) confirmam, através de estimativas em séries temporais, que um aumento de 1°C na temperatura terrestre pode causar uma redução de 12% no PIB global, superando estimativas anteriores mais conservadoras. Esse grande efeito se dá em virtude de fenômenos meteorológicos extremos que irão acontecer com maior frequência e que levam a uma queda significativa de estoques de capital e investimento. Dell *et al.* (2012) também encontram resultados empíricos de efeitos negativos de aumentos de temperatura no crescimento econômico. No entanto, os autores afirmam que mudanças climáticas afetam mais severamente países em desenvolvimento. Essa dinâmica acontece justamente por esses países terem uma estrutura produtiva intensiva em atividades primárias, como a agricultura, em que eventos extremos afetam a produção e provocam piores resultados também no setor industrial destes. Uma das razões levantadas para essa queda no setor industrial é a queda da produtividade dos trabalhadores deste setor em detrimento do aumento das temperaturas causadas pelas mudanças climáticas. É possível concluir que maiores níveis de emissões que, por sua vez, levam a aumentos na temperatura, são fatores que desestimulam o crescimento econômico.

Feijó, Feil e Teixeira (2024), em linha com o que Gramkow (2019) menciona sobre a vulnerabilidade dos países em desenvolvimento em um contexto de mudanças climáticas, apresentam uma série de fatores que intensificam essa fragilidade econômica. Em primeiro lugar, os autores mencionam o modelo de integração financeira subordinada ao sistema financeiro internacional, o que reduz o espaço para políticas econômicas autônomas e eficazes. Em segundo, eles apontam que desastres climáticos têm impactos mais duradouros nesses países, especialmente devido à estrutura produtiva dependente de exportações de commodities agrícolas e minerais, ou de setores altamente vulneráveis ao clima, como a agricultura. Além disso, a infraestrutura inadequada torna esses países menos

resilientes a eventos climáticos extremos. A pobreza e a desigualdade social, muitas vezes ampliadas pela crise climática, também dificultam a capacidade de adaptação da população. Por fim, o acesso limitado a tecnologias e conhecimento necessários para lidar com os impactos das mudanças climáticas agrava ainda mais essa vulnerabilidade.

Nos anos recentes, as emissões de GEE estavam em trajetória crescente, exceto pelo ano que foi decretada a pandemia de COVID-19 em 2020 (Our World in Data, 2024). Fang, Huang e Sun (2024) afirmam que os fatores determinantes dessa problemática são o aumento significativo do consumo de energia e as emissões oriundas dos setores industriais. O primeiro acontece em razão da utilização de combustíveis fósseis, como carvão, petróleo e o gás natural que são intensivos na emissão de carbono, se conformando como a principal parte da matriz energética de quase todas as economias. Já as emissões derivadas do segundo são mais difíceis de diagnosticar, pois existe uma carência de instrumentos que meçam a posição da indústria e/ou de setores nas cadeias de abastecimento globais e sua influência nas emissões de carbono. A interpretação dos padrões implícitos de fluxo de carbono do setor industrial global contribui para a atribuição de responsabilidades entre as indústrias. Além disso, compreender essa dinâmica pode fornecer dados que deem suporte para medidas de redução de emissões, o que auxilia a minimizar impactos ambientais.

Esses padrões implícitos de transmissão de carbono entre setores são explicados por Costa (2023), em que o autor esquematiza como o processo de transbordamento pode acontecer entre setores. A partir de um choque exógeno na demanda final pelos produtos do setor A, o próprio setor A é o primeiro a ser impactado. Após isso, tendo em vista as relações de complementariedade da produção através de oferta e demanda, o setor B será afetado, sendo esse o efeito de transbordamento. Em seguida, o setor B demandará insumos ofertados pelo próprio setor (autoconsumo) ou por terceiros, sendo possível ser até mesmo do setor A, que seria considerado um efeito de retroalimentação. O primeiro efeito será autocontido no próprio setor e o segundo efeito é linear no sentido de que há um transbordamento de A para B. Caso ocorra uma demanda de B em direção à A, esse é o efeito de retroalimentação.

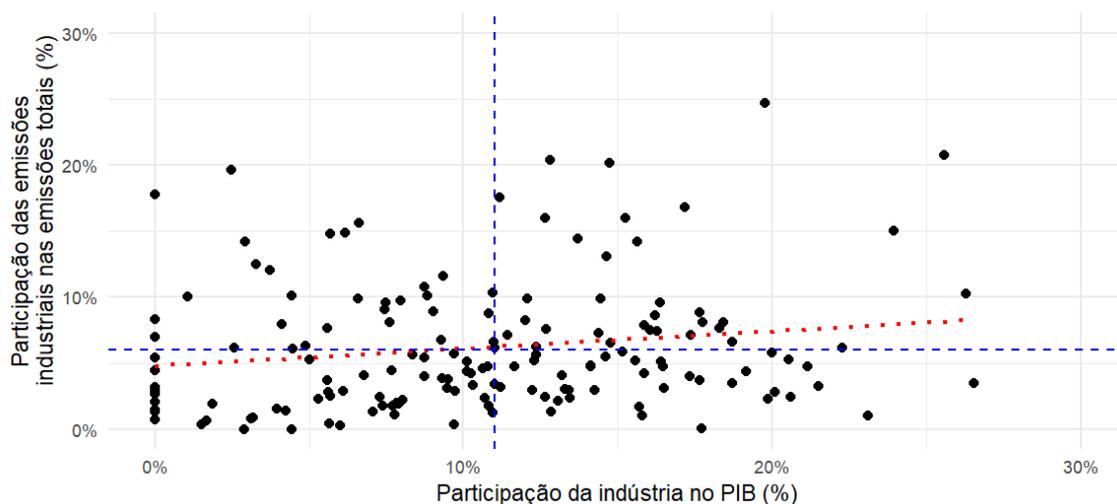
Esses setores com elevado poder de induzir transbordamentos seriam os pontos críticos de produção ou setores-chaves, isto é, aqueles que contêm elevados

níveis de encadeamento com o resto da economia, que podem ser observados para além dos elos de produção. Essa temática é especialmente relevante em um contexto que se discute cada vez mais a dimensão da redução de emissões dentro da perspectiva ampla de desenvolvimento econômico. Costa (2023) afirma que os problemas ambientais estão cada vez mais urgentes, então, olhar para as estruturas e cadeias produtivas torna-se imprescindível, visto que é interessante examinar como a estrutura econômica se comporta em termos de emissão de GEE e, assim, identificar as principais cadeias e setores que estão associados a impactos ambientais acima da média.

Uma forma de alcançar a meta de que os países signatários do Acordo de Paris desenvolvam estratégias de longo prazo com baixas emissões de GEE é através da descarbonização das cadeias produtivas, especialmente as industriais. É de notório conhecimento que a manufatura é uma fonte significativa de emissões. Um dado que comprova essa afirmativa é que no ano de 2016, as atividades industriais representaram mais de um terço das emissões de GEE (Our World in Data, 2023). Os processos industriais diretos respondem por 5,2% das emissões globais de GEE, enquanto o uso de energia na indústria contribui com mais 24,2%. Além disso, o uso de materiais que são intrinsecamente intensivos em emissões - como a produção de químicos, aço, alumínio e outros - representa uma quantidade significativa das emissões indiretas. (Banco Mundial, 2023)

Uma forma de visualizar a dinâmica das emissões decorrentes das atividades produtivas pode ser através do padrão de especialização das economias. A Figura 2 a seguir procura mostrar a associação entre as participações das emissões das atividades industriais nas emissões totais e a participação da manufatura no PIB dos países no ano de 2020.

Figura 2: Associação entre participação da manufatura no PIB e participação das atividades industriais nas emissões totais ano de 2020



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Our World in Data e Banco Mundial.

Aparentemente, nota-se uma correlação ligeiramente positiva entre as duas dimensões, em que quanto maiores as emissões dos processos industriais, maior seria a participação da indústria na composição do PIB, representada pela linha pontilhada em vermelho. De todo modo, o objetivo aqui não é estabelecer uma relação de causalidade entre as duas variáveis e sim procurar compreender qual seria o papel da indústria e, por consequência, a sua importância para a redução das emissões. Há países que se localizariam nesse esquema como aqueles com participação da indústria no PIB e emissões de GEE oriundos da indústria ambos acima da média mundial. Seria o caso de economias como a China, Vietnã, México e Singapura. Por outro lado, há aqueles que possuem uma participação do nível de emissão industrial superior à média mundial, porém, com baixa participação da indústria no PIB em comparação ao restante dos países. Como exemplo temos a França. Ou, de maneira contrária, há aqueles com elevada participação da indústria no PIB comparativamente ao restante do mundo e baixo nível de emissões industriais em relação ao total na comparação com o mundo. Independentemente da condição em questão, é difícil visualizar trajetórias para a redução das emissões que não perpassem objetivamente pela indústria como fornecedora de soluções redutoras de carbono, mesmo que diretamente ela não seja a principal emissora.

É necessário apontar que cada país possui um padrão de especialização da estrutura produtiva que leva a diferentes formas de emissão. Atualmente, os cinco maiores poluidores globais são China, EUA, Rússia, Índia e Brasil, respectivamente

(SEEG, 2021). Oliveira, Ribeiro e Carvalho (2020) destacam que China, Índia e Rússia possuem uma matriz energética baseada em combustíveis fósseis, o que caracteriza a maior parte de suas emissões. Só as emissões chinesas entre 1990 e 2020, aumentaram de 2473.17 MtCO₂e (milhões de toneladas de emissão de dióxido de carbono e equivalentes) para 10818.71 MtCO₂e, representando um aumento de 337,42%. (CW, 2023). Parte desse grande aumento da emissão em atividades de geração de energia deve-se ao consumo de carvão. Entre os anos de 2000 e 2012, o consumo de carvão foi de 1 bilhão de toneladas para mais de 4 bilhões, o que resultou na fama indesejável por parte da economia chinesa de maior produtora de emissões de carbono por conta da queima de carvão. No entanto, a partir dessa marca, o governo chinês resolveu limitar esse crescimento, levando a um decréscimo desde então, com um leve aumento no ano de 2017 (Mathews, 2020).

Olhando para a América Latina, o principal *driver* de emissões da região são provenientes de atividades primárias. Isso aponta para uma especificidade da região quanto ao padrão de emissões. Retirando mudanças no uso da terra, que são decorrentes majoritariamente do desmatamento, as principais atividades emissoras da região em 2019 foram: pecuária, transporte rodoviário, geração de eletricidade, resíduos e agricultura (CEPAL, 2023). Já o Brasil, como dito, ocupa o quinto lugar entre os maiores poluidores climáticos, com cerca de 3,2% do total mundial. O nível de desmatamento distorce essa média, fazendo com que a emissão per capita de estados da região amazônica, como Mato Grosso e Rondônia, sejam maiores do que as dos Estados Unidos (SEEG, 2021). Uma das vantagens do país, destacada por Barcelos e Costa (2023), é a composição diversificada da matriz energética, com uso principal de hidroelétricas e outras fontes renováveis, o que torna a sua estrutura produtiva menos dependente de combustíveis fósseis e, portanto, menos emissora de GEE.

Há diferentes tipos de padrões de especialização produtiva e dentro da própria indústria existem diversas formas de segmentação como, por exemplo, por níveis/intensidades tecnológicas, e o que se busca é realizar uma mudança estrutural que vise fomentar aquelas atividades que sejam conjuntamente capazes de gerar ciclos de desenvolvimento ao mesmo tempo que se apresentem como menos intensivas na emissão de GEE. Uma indústria que produza bens mais “sofisticados” ou tecnologicamente mais avançados vai de encontro ao que a Comissão Econômica para assuntos da América Latina e Caribe (CEPAL) (2023) recomenda como modo de

utilizar a indústria como uma das soluções de mitigação e de desenvolvimento econômico, em que estes produtos gerados possuem maior valor adicionado e são mais propensos a desenvolver capacidades que podem ajudar a reduzir as emissões e produzir bens de forma mais eficiente, por exemplo, por meio do desenvolvimento de eco-inovações. Além disto, existem segmentos industriais que são menos intensivos em emissões, o que contribui na construção de uma economia de baixo carbono.

Avenyo e Tregenna (2022) dão suporte a essa afirmação, pois buscaram encontrar evidências empíricas sobre a relação entre a intensidade tecnológica da manufatura e seu efeito nas emissões de CO₂, especialmente em economias em desenvolvimento. Através de estimações econométricas, os autores encontram uma correlação positiva entre o setor industrial com emissões de GEE, o que já era esperado nas hipóteses iniciais. No entanto, também mostram que ao segmentar o setor industrial por intensidade tecnológica⁷, as atividades com baixa intensidade tecnológica possuem correlação positiva com as emissões de GEE, enquanto as que são de média e alta intensidade tecnológica possuem uma correlação negativa com o indicador de poluição. Essas descobertas jogam luz nas diferenças entre os diferentes tipos de indústria, pois há relevância tanto do que é produzido quanto do como é produzido. Eles ressaltam que não é que as indústrias mais intensivas em tecnologia não emitam, mas sim que existe uma diversidade dentro de cada categoria de tecnologia e que alguns são menos intensivos em emissões por unidade de valor adicionado e que certamente há espaço para fazer produtos de baixa tecnologia serem menos intensivos em emissão.

Romero e Gramkow (2021) também encontram conclusões semelhantes. Os autores ao responderem se maiores níveis de complexidade econômica⁸ leva a maiores níveis de crescimento econômico e se esse cenário possui impactos em termos de emissões. Nos resultados encontrados, visualiza-se que a produção de bens complexos está associada a menores emissões por duas razões principais. Primeiro, esses produtos são frequentemente tecnologicamente sofisticados e estão

⁷ Os autores utilizam a classificação tecnológica utilizada pela OCDE, que categoriza os diferentes setores da indústria em baixa, média e alta intensidade tecnológica.

⁸ O conceito de complexidade econômica explora os diferentes tipos de capacidades tecnológicas para produzir bens sofisticados. A estrutura produtiva de uma economia, refletida pela gama e complexidade dos bens que produz competitivamente, revela essas capacidades. Para melhor compreensão deste conceito, ler Romero e Gramkow (2021)

associados a valores de mercado mais altos. Isso cria eficiência econômica no sentido de que mais valor econômico é obtido para cada unidade de poluição emitida. Além disso, as economias ditas mais “complexas” possuem maior probabilidade de desenvolver capacidades que possam ajudar a reduzir a poluição e produzir produtos de forma mais eficiente ambientalmente, por exemplo através do desenvolvimento de inovações de baixa intensidade de carbono.

Outra forma encontrada pela literatura de promover menores emissões a partir do desenvolvimento industrial é através do que é denominado como “simbiose industrial”⁹. Estabelecido pelos artigos seminais de Frosch e Gallopoulos (1989¹⁰, *apud* Chertow, 2007), o conceito refere-se às trocas físicas de insumos — como energia, água e outros subprodutos — entre diferentes de indústrias localizadas geograficamente próximas. O que determina o sucesso da simbiose industrial são a colaboração e as possibilidades sinérgicas oferecidas. Usualmente, a simbiose ocorre em *clusters* dominados por uma única indústria, como complexos petroquímicos. Em geral, são consideradas três principais oportunidades para a troca de recursos: 1. Reutilização de subprodutos — a troca de materiais específicos de empresas entre duas ou mais partes, para uso como substitutos de produtos comerciais ou matérias-primas; 2. Compartilhamento de infraestrutura, em que há o uso e gestão em conjunto de recursos comuns, como energia e água; 3. Prestação conjunta de serviços.

Yu, Han e Cui (2015) listam motivos para que essa colaboração aconteça. O primeiro, e mais comum deles, é que a essa cooperação pode trazer considerável benefício financeiro na substituição de matérias-primas e gerar economia sob os custos de transporte. O segundo motivo pode vir de quando há incentivos fiscais, como abatimento de impostos e políticas de reembolso para empresas que utilizam subprodutos vindo de outras empresas, como fabricantes de cimento e fertilizantes que consomem cinzas volantes, vinhaça e outros resíduos. Por fim, o último motivo não é exatamente um fator econômico, mas inclui aspectos sociais e de cultura corporativa. Essa dinâmica entre empresas pode fortalecer o marketing dos negócios,

⁹ Para diferenciar a simbiose industrial de outros tipos de prática de trocas simples, o autor menciona que é necessário adotar o critério mínimo da “heurística 3-2. É necessário três entidades diferentes estejam envolvidas na troca de pelo menos dois recursos diferentes para ser considerada uma forma básica de simbiose industrial. Ao envolver três entidades, tendo nenhuma delas engajada em um negócio voltado para reciclagem, a heurística 3-2 começa a reconhecer relações complexas em vez de trocas lineares de mão única. (Chertow, 2007)

¹⁰ FROSCH, R. A.; GALLOPOULOS, N. E. **Strategis for manufacturing**. *Scientific American*, v. 261, n. 3, p. 144–152, 1989.

visto que pautas relacionadas à sustentabilidade têm ganhado destaque, e os consumidores estão cada vez mais atentos às "boas práticas" empresariais. Assim, uma empresa que busca reduzir seus impactos ambientais pode atrair consumidores que valorizam a responsabilidade social e refletem essa cultura moral. Como exemplo prático desses clusters, os mais destacados pela literatura são o Kalundborg Eco-Industrial Park localizado na Dinamarca ou o Tianjin Economic Development Area na China.

Toda essa dinâmica da simbiose industrial de reutilização de recursos está muito próxima ao conceito de economia circular. Este último conceito consiste apenas em conectar resíduos ou subprodutos como insumo para outra produção e sim sobre evitar desperdícios ou desperdiçar recursos. A economia circular visa eliminar resíduos e poluição, mantendo produtos e materiais em uso e regeneração de sistemas naturais. A economia circular ocorre em dois ciclos. O primeiro é denominado como biológico, em que materiais podem ser reciclados e retornados à biosfera. O segundo, o ciclo técnico, consiste em recuperar e restaurar materiais reutilizando, reparando, remanufaturando através de processos de reciclagem. (Järvenpää, Salminen e Kantola, 2021)

Nesse cenário, propõe-se formular estratégias de crescimento que não sejam baseadas em combustíveis fósseis e práticas altamente emissoras, como as adotadas pelas potências industriais desde o início do século XX, como Alemanha, Inglaterra e Estados Unidos, ou pelos países industriais recentes, como os asiáticos, um dos desafios deste século. Os custos em se adotar trajetórias de desenvolvimento que não busquem frear o aumento das temperaturas tendem a ser elevados e crescentes. Isso abre uma janela de oportunidade para uma nova geração de políticas em prol da sustentabilidade, capazes de promover um novo ciclo de desenvolvimento (CEPAL, 2023).

O que é apontado como solução para esse conflito, por autores que defendem a mudança estrutural como caminho para superar condição de subdesenvolvimento, não é o sacrifício do desenvolvimento industrial. Entende-se como norte a construção de um sistema industrial que seja menos intensivo na emissão de GEE, usufruindo de uma fonte de energia baseada em recursos renováveis e atividades econômicas inter e intrasetoriais que utilizem recursos de maneira mais eficiente ambientalmente. Portanto, a manufatura permanece como elemento central do desenvolvimento, porém com elementos importantes adicionados na busca por uma transformação

estrutural para uma economia de baixo carbono, tais como a transição energética e a tradicional redução das pegadas de carbono (UNCTAD, 2021).

Conforme mencionado por Braga, Hayde e Torracca (2023), é necessário buscar trajetórias que levem em consideração os desafios que os riscos climáticos impõem, como implementar soluções resilientes e de baixo carbono para uma economia mais diversificada e competitiva em mercados externos. Permanecer em trajetórias que dependam de atividades de alta emissão pode ser um caminho perigoso, pois projeta-se que essas atividades irão perder valor de mercado e serão substituídas. Schwarzer (2013) corrobora com esta visão, pois a escassez de recursos, a volatilidade dos preços e a regulamentação ambiental estão se tornando cada vez mais rígidas.

Tausch e Magacho (2024) listam alguns dos desafios que os países em desenvolvimento terão para se reestruturarem de maneira a se tornarem uma economia de baixo carbono. O primeiro seria furar a bolha de produção de bens de capital com alto valor agregado, que usualmente estão concentrados em países desenvolvidos e requerem altos níveis tecnológicos. Assim, dada a sua especialização em indústrias de baixo valor agregado, as economias em desenvolvimento são menos diversificadas e menos competitivas na produção desses produtos “verdes” e de alta tecnologia. O segundo desafio de descarbonização, em uma perspectiva socioeconômica, seriam as mudanças resultantes na reestruturação do mercado de trabalho com importantes efeitos distributivos, já que essa alteração para atividades menos poluidoras é usualmente baseada em alternativas mais tecnológicas e que requerem empregos qualificados. Por fim, há a descarbonização de setores essenciais, como o de construção, que no primeiro momento podem demandar bens de capital importados e que criam uma pressão negativa sobre a balança de pagamentos desses países em desenvolvimento.

Como síntese das medidas que precisam ser adotadas é apontado que a geração de energia precisa mudar de fontes fósseis para fontes renováveis, pois à medida que esse setor de energia se torna ambientalmente sustentável, atividades que são fortemente emissoras por serem intensivas em consumo energético tais como os serviços de transporte, cimento, aço, alumínio, também serão impactadas pela redução de emissão. Argumenta-se também que a agricultura deverá desenvolver novas práticas de cultivo que requerem menos energia e insumos químicos. Também é visto como necessário o aumento na eficiência de recursos em todas as indústrias, incluindo a necessidade de se promover economias circulares e a redução de

desperdício e/ou aumento de reutilização e reciclagem (ALTENBURG e RODRIK, 2017; ALTENBURG e VROLIIJK, 2020).

Magacho *et al.* (2023), que também reafirmam essa necessidade de transformação estrutural em direção a uma economia de baixa intensidade de emissão de carbono, trazem para discussão que países com diferentes estruturas produtivas, com diferentes graus de diversificação e ferramentas de políticas disponíveis, sofrerão impactos sociais e econômicos diversos. Isso acontece em razão da dinâmica de cada país em relação à sua economia doméstica, sua inserção no comércio internacional, a dependência de indústrias e atividades produtivas altamente emissoras, à sua capacidade de financiamento para essa transição e à estrutura de empregos e trabalho.

Um exemplo de proposta que caminha na direção do conceito de mudança estrutural voltado para construção de uma economia de baixo carbono pode ser encontrado no *Big Push* Ambiental proposto pela CEPAL. Esse projeto, definido como uma ideia-força e não necessariamente uma política industrial, é inspirado nas ideias de Rosenstein-Rodan (1957)¹¹, que argumentava que era necessário um conjunto grande de investimentos coordenados que teriam que ser destinados para um programa de desenvolvimento econômico. Já a sua versão atualizada para enfrentar os problemas do século XXI, inserindo de forma importante a questão ambiental, traz necessidade de uma escala mínima de investimentos, sendo esse o componente mais importante em razão do seu potencial dinamizador da economia e de proporcionar transformações na estrutura produtiva o que, por sua vez, requer uma maior necessidade de coordenação. Esse programa caracteriza-se por investimentos que buscam a construção de uma estrutura produtiva que apresente simultaneamente eficiência schumpeteriana¹², keynesiana¹³ e ambiental, sendo essa última definida como a necessidade de desacoplar o crescimento econômico das emissões de GEE. (GRAMKOW, 2019)

O que busca se fazer entender aqui é que apesar de existir um “manual” de boas práticas nessa busca de uma estrutura produtiva não intensiva em carbono, é

¹¹ Rosenstein-Rodan, Paul N. (1957), “Notes on the Theory of the “Big Push””, Economic Development Program, Italy Project C/57-25.

¹² Eficiência schumpeteriana é uma proxy da intensidade e oportunidade tecnológica dos setores. (GRAMKOW, 2019)

¹³ Eficiência keynesiana é um indicador que busca calcular a elasticidade-renda dos bens produzidos. (GRAMKOW, 2019)

necessário olhar de maneira mais ampla a dinâmica de uma economia nacional, em que existem especificidades que podem ser entraves na adoção dessas receitas gerais de menor emissão. Existem países que seu padrão de especialização está pautado em produtos que são altamente intensivos ou que exigem atividades mais emissoras e países que possuem atividades não intensivas, mas que possuem cadeias dependentes de fontes energéticas fósseis. Portanto, a materialização de políticas concretas voltadas para uma mudança estrutural de baixo carbono é específica para cada país. Contudo, o mais importante é que a ideia por detrás não representa sinônimo do sacrifício industrial, mas que existem soluções de baixo carbono que estão pautadas em planos de desenvolvimento industrial.

CAPÍTULO 2 - METODOLOGIA

A partir da contextualização teórica da importância da estrutura produtiva das economias para que os países alcancem maiores níveis de desenvolvimento e como essa dinâmica se relaciona com emissões de GEE, esse capítulo tem objetivo de buscar na literatura quais as metodologias que mais se ajustam para realizar esta análise. Para atender a esse fim, ele estará dividido em três seções.

A primeira seção resgata as mais diferentes metodologias que podem ser adotadas para fazer a análise conjunta de emissões decorrentes de um ou mais agente econômico. A segunda explora quais são os indicadores comumente utilizados na metodologia de matriz insumo-produto e como essa questão de emissões pode ser inserida. Por fim, a terceira e última contém a formalização matemática do indicador calculado neste presente trabalho e quais são suas interpretações.

2.1. Mecanismos de análise de emissões advindos da estrutura produtiva

Existem diversas formas e lentes que podemos observar como a questão produtiva se relaciona com as emissões. A primeira delas é através da análise de um produto ou serviço específico. Uma técnica bastante difundida na literatura que busca mensurar esses impactos em termos de emissão é a Análise de Ciclo de Vida (ACV), que consiste em avaliar os potenciais impactos ambientais ao longo de todo o ciclo de vida de um produto ou serviço nas fases de produção, distribuição, uso, até o seu descarte ou “fim de vida”, incluindo o que foi demandado de materiais, energia, destinação dos resíduos sólidos e outros (Dietzenbacher e Romero, 2007). Outra forma, quando se tem um produto específico, é através da análise a partir das matrizes insumo-produto. Nessas duas formas o que se obtém é o padrão de emissão direta em todas as etapas de produção e/ou o quanto de insumos foram utilizados para viabilizar esse processo.

A outra é a partir das atividades econômicas, em que são visualizados quais os processos necessários para a produção de um bem, e como eles se comportam em termos de fluxos de emissão. Aqui o conceito de cadeias produtivas é extremamente útil para um quadro analítico calcado na importância das relações intersetoriais. Originada na visão de *filiières*, advindo da escola francesa de economia

industrial, Haguenuer et al. (2001) classificam como cadeias produtivas o conjunto das atividades, em suas mais diversas etapas de processamento ou montagem, que transformam matérias-primas básicas em produtos finais. Essas cadeias produtivas, assim como os setores, se relacionam estritamente por meio de atividades de compras e vendas correntes, o que constitui os principais mercados e/ou fornecedores das demais atividades participantes. Quando intensamente integradas, choques são rapidamente sentidos no país, pois se propagam internamente. Portanto, esse conceito se torna uma lente interessante para a observação de mudanças estruturais das economias. A análise da evolução das cadeias permite, dentre outros aspectos, a identificação de áreas mais e menos bem-sucedidas, pontos críticos e potencialidades. (Haguenuer et al, 2001)

Dentro de uma análise mais microeconômica, a partir da perspectiva da firma, é possível utilizar um inventário público sobre emissões que tenha práticas reconhecidas internacionalmente, como o Protocolo de Gases de Efeito Estufa: Um Padrão Corporativo de Contabilização e Reporte, ou simplesmente mais conhecido como GHG Protocol. Lançado em 1998 e revisado em 2004, é atualmente a ferramenta mais utilizada mundialmente pelas empresas e governos para entender, quantificar e gerenciar suas emissões. A partir da demanda da sociedade e outras organizações sobre a criação de dados relativos a emissões de GEE, boa parte das firmas tem buscado criar repositórios sobre suas emissões, em que estes podem ser gerados de maneira independente ou consolidados conjuntamente com outras diversas firmas. (FGV, 2008)

Um dos benefícios de participar de um inventário com credibilidade para as empresas é que a partir do perfil das emissões, é possível gerar um diagnóstico para dar o passo seguinte: estabelecer estratégias, planos e metas para redução e gestão das emissões de GEE. Um segundo motivo é que a partir da quantificação de reduções de emissões voluntárias e antecipadas de uma organização, é possível que estas sejam reconhecidas em futuros programas regulatórios ou até mesmo benefícios financeiros. Um exemplo é que o estado da Califórnia declarou que empregará seus melhores esforços para garantir que organizações que registrem reduções certificadas de emissões no *Climate Action Registry*, órgão do estado, sejam adequadamente consideradas em qualquer futuro programa internacional, federal ou estadual de regulação de emissões de GEE. (FGV, 2008)

Como forma de ajudar a delinear as fontes de emissão direta e indireta, melhorar a transparência e ser útil a diferentes tipos de organizações, diferentes tipos de políticas relacionadas à mudança do clima e a objetivos de negócio, são definidos três “escopos” para fins de contabilização e elaboração do inventário de GEE. O escopo 1 refere-se às emissões diretas que são as provenientes de fontes que pertencem ou são controladas pela firma, como, por exemplo, as emissões de combustão em caldeiras, fornos, veículos da empresa ou por ela controlados, emissões da produção de químicos em equipamentos de processos que pertencem ou são controlados pela organização, emissões de sistemas de ar-condicionado e refrigeração, entre outros. O escopo 2 contabiliza as emissões provenientes da aquisição de energia elétrica e térmica que é consumida pela empresa. Essas emissões que constituem o escopo 2 constituem uma categoria especial de emissões indiretas, já que a energia adquirida representa uma das principais fontes de emissões de GEE e representa oportunidade mais significativa de reduzir tais emissões. Por fim, o escopo 3 agrupa todas as outras emissões indiretas que são uma consequência das atividades da empresa, como as que ocorrem em fontes que não pertencem ou não são controladas pela empresa. É importante ressaltar que o relato de emissões do escopo 3 é opcional, segundo as diretrizes do Programa Brasileiro GHG Protocol, apesar de ser fortemente recomendada a declaração. (FGV, 2008)

Zhang et al. (2017) trazem uma diferente perspectiva, pois afirmam que a proposta de observar as emissões decorrentes da produção negligencia o fato de que o consumo das famílias é o fator impulsionador básico das emissões de GEE das cadeias produtivas. O consumo das famílias gera uma procura por bens e serviços, e a resposta dessa demanda resulta em consumo de energia e emissões de carbono da produção. Existe uma ampla literatura que busca relacionar como as emissões podem ser observadas a partir da perspectiva do consumo.

Perobelli, Faria e Vale (2015) elaboram que essa relação pode ser vista no sentido em que quando há crescimento econômico e aumento da renda, há um impacto positivo sobre o consumo de bens. Este aumento no consumo possui efeitos multiplicadores positivos na economia, já que é necessário aumentar a oferta de bens para atender à nova e crescente demanda. Por um lado, essa dinâmica cria um ambiente favorável para a consolidação de uma economia forte. No outro, o aumento do consumo e, conseqüentemente, do processo de produção, é muitas vezes associado a um maior nível de emissões.

Ressalta-se que é necessário cautela em visualizar essa dinâmica em uma perspectiva exclusivamente unidirecional, isto é, o impacto do consumo nos setores de produção. Com interpretação similar ao que Costa (2023) fez ao discorrer sobre como o efeito de transbordamento de produção e emissões, Zhang et al (2017) chama de “feedback bidirecional” a relação entre o consumo das famílias e as emissões dos setores de produção. Este conceito significa que embora as famílias possam influenciar as emissões dos setores produtivos através do consumo, setores de produção também podem influenciar o consumo das famílias através dos salários dos trabalhadores.

A atribuição de responsabilidade do consumo pode não ser tão evidente em um primeiro momento, pois o usual é que a emissão seja de responsabilidade da atividade em que ela foi produzida, isto é, circunscrita a um território ou indústria específica. No entanto, estamos vivenciando uma economia mundial cada vez mais integrada comercialmente, com a produção dispersa por diversos locais, dentro e fora de um país, e consumidores geograficamente mais distantes. Nesse sentido, organizações como o IPCC sugerem uma mudança de abordagem orientada para o consumo afim de atingir menores níveis de emissão. (Zhang et al, 2017; Jakob, Ward e Stecktel, 2021)

Zhang et al. (2017) ao fazer análises quantitativas do impacto do consumo das famílias em termos emissões de GEE na China entre 2007 e 2012, utilizando ferramental de insumo produto, concluiu que famílias que vivem em ambientes rurais consomem produtos muito menos intensivos em carbono do que as famílias que vivem em zonas urbanas. Dentro dessa última categoria, existem diferenciações de famílias por renda, sendo as de elevada renda aquelas que têm impactos muito maiores que as de baixa renda. As principais atividades que demandam produtos mais intensivos em emissão, através do consumo são aquelas de produtos alimentares em primeiro lugar, em seguida, as de cuidados de saúde e serviços médicos e transporte e comunicação.

No caso brasileiro, Perobelli, Faria e Vale (2015) chegam a conclusões semelhantes. Estes encontram, ao dividir a população do país em oito estratos de renda, que o setor de transportes tem o maior impacto negativo e crescente durante o período de 2003 a 2009¹⁴ para todos os agregados de renda. Já as cadeias

¹⁴ Nesse período, diversas políticas de transferência de renda, como Bolsa Família, foram implementadas ao passo que a economia brasileira estava em fase crescimento com elevações

produtivas alimentares, tal como a maioria dos outros setores, diminuem seu nível de emissões durante o período, porém de maneira mais acentuada nas classes de consumo mais baixas. Esses resultados vão ao encontro dos argumentos que consideram a avaliação das emissões, com particular atenção ao consumo das famílias, importante, já que este é o componente mais significativo da demanda final na maioria dos países. O resultado mais significativo que os autores encontram, em termos de insumo para elaboração de políticas, é que os níveis de consumo das classes de renda mais altas são maiores e assim geram mais emissões, logo uma pequena variação no consumo pode ter um impacto significativo nas emissões.

Outros autores pesquisaram casos particulares de diversas regiões. Brizg, Feng e Hubacek (2017) analisam as emissões domésticas de carbono relacionadas com o consumo nos três países do Báltico, Estônia, Letônia e Lituânia entre 1995 e 2011. Nesse período, através de estimativas em modelos insumo produtos regionais, foi encontrado que as pegadas de carbono¹⁵ das famílias em todos os Estados Bálticos aumentaram. De maneira geral, o padrão de emissões desses países foi fortemente influenciado pelos setores de transporte e alimentos. Outros trabalhos nessa temática são listados por Zhang et al (2017) como Weber e Perrels (2000)¹⁶ que analisaram a demanda doméstica direta e indireta de energia e emissões de GEE na Alemanha Ocidental, França e Países Baixos, Wier et al. (2001)¹⁷ que avaliaram a relação entre padrões de consumo de diversas modalidades de domicílios e suas emissões na Dinamarca, Dai et al. (2012)¹⁸ que exploraram a influência da demanda das famílias por padrão de consumo de energia e emissões na China.

2.2. Fundamentação teórica das metodologias insumo-produto

Neste trabalho, o que se busca fazer não é apenas olhar para uma única atividade, produto ou adensar informações a nível da firma, e sim entender a

reais do salário-mínimo. No entanto, esse crescimento de renda, conforme demonstrado por Perobelli, Faria e Vale (2015) foi maior nas classes mais altas.

¹⁵Uma medida direta das emissões de GEE (expressas em toneladas de carbono equivalentes de dióxido) causados por uma atividade ou agente definidos.

¹⁶Weber, C., Perrels, A., 2000. Modelling lifestyle effects on energy demand and related emissions. *Energy Policy* 28, 549-566.

¹⁷Wier, M., Lenzen, M., Munksgaard, J., Smed, S., 2001. Effects of household consumption patterns on CO₂ requirements. *Econ. Syst. Res.* 13, 259-274.

¹⁸Dai, H., Masui, T., Matsuoka, Y., Fujimori, S., 2012. The impacts of China's household consumption expenditure patterns on energy demand and carbon emissions towards 2050. *Energy Policy* 50, 736-750.

complexidade de uma estrutura produtiva que está em maiores ou menores níveis interligada a outros setores, a partir da ótica explorada por Hirschman (1958). O termo complexidade aqui utilizado não se refere ao que Hidalgo e Hausman (2009) estabelecem. Esses autores buscam medir a complexidade econômica de um país através de dados da relação comercial entre países que são traduzidos a partir de *proxys* da diversificação produtiva (número de bens exportados por país) e da ubiquidade desses produtos (número de países que exportam o produto). A noção de complexidade que se pretende trabalhar é a mesma de Romero, Hewings e Dietzenbacher (2009), em que esse conceito é definido como o nível de interação entre diferentes setores produtivos de uma economia e é avaliada com base no grau de intensidade entre seus elos produtivos.

Para medir a intensidade de encadeamento entre setores existe uma vasta literatura com diferentes metodologias. Explorada por Hirschman (1958) e introduzida por Rasmussen (1956), a pioneira já foi mencionada anteriormente sobre verificar encadeamentos tanto para frente ou quanto para trás e assim encontrar os “setores chave”. Um exemplo prático dado por Romero, Hewings e Dietzenbacher (2009) é observar como a demanda dos consumidores do serviço de hotéis e restaurante impactam a indústria de processamento de alimentos, que por sua vez necessita de insumos da agricultura. Ao analisar esses encadeamentos, nota-se que os hotéis e restaurantes dependem de suas compras do processamento de alimentos, que dependem da produção agrícola. As interdependências nessa abordagem são observadas a partir da ótica da demanda. Similarmente, é possível observar o efeito do aumento de custo da agricultura de forma progressiva pela cadeia de produção, afetando o valor total da produção de hotéis e restaurantes. Nesse caso, a agricultura depende de suas vendas para o processamento de alimentos, que depende de suas vendas para hotéis e restaurantes. Os encadeamentos nessa última abordagem são analisados pela ótica da oferta.

Metodologias que estão em busca de fazer análise da interrelação entre os setores econômicos usualmente utilizam o instrumental de matrizes insumo produto, que é uma estrutura analítica desenvolvida pelo economista Wassily Leontief na década de 1930. Em linhas gerais, é um conjunto de equações lineares que descreve a distribuição da produção de uma determinada região. A informação essencial para

a base desse modelo insumo-produto são os fluxos de bens produzidos que circulam em diferentes setores de uma economia¹⁹ (Miller e Blair, 2009).

Wang et al. (2013) resumem os principais métodos de análise que utilizam as matrizes insumo produto como base. Os autores afirmam que ao medir as ligações e identificar os "setores-chave" no contexto de insumo-produto os dois principais métodos que foram predominantes utilizados foram o Método Clássico do Multiplicador, desenvolvido pelos economistas Rasmussen (1956) e Chenery e Watanabe (1958) e o método de extração hipotética (MEH), inicialmente proposto por Strassert em 1968.

Este primeiro mencionado tem como objetivo verificar quais são os efeitos de mudanças exógenas na estrutura produtiva sobre resultados dos setores da economia, como efeitos de aumento de renda pelas famílias, que por consequência aumentam a demanda, ou de mudanças na estrutura de emprego. A noção de multiplicadores baseia-se na diferença entre o efeito inicial de uma mudança exógena e os efeitos totais dessa mudança, que são decompostos em efeitos diretos e indiretos (ou induzidos). Já o método HEM busca quantificar quanto de produção de uma economia perderia caso um determinado setor específico fosse retirado (Miller e Blair, 2009).

Nos últimos anos, a temática ambiental tem sido incorporada nas discussões econômicas com o objetivo de contribuir para um futuro equilibrado entre produção e impactos ambientais. No entanto, a análise de insumo-produto ambientalmente estendida já vem sendo praticada há um período considerável, sendo uma técnica útil para atribuir a geração de poluição ou o uso de recursos à demanda final em um *framework* consistente. Nas últimas duas décadas, o renovado interesse pelo tema levou a vários estudos baseados em análises insumo-produto ambientalmente estendida, que adotam uma perspectiva de consumo e/ou investigam as pressões ambientais, principalmente as emissões de GEE, incorporadas nos fluxos de comércio internacional, tais como Alcántara and Padilla (2009²⁰, apud Wiedmann, 2009) na

¹⁹ Os dados para um modelo insumo-produto precisam ser especificados. Usualmente, eles são descritos para uma região específica em um período de um ano. As atividades econômicas são separadas em um número de segmentos ou setores produtores, que podem ser indústrias no sentido usual, como a de aço e ferro, ou podem ser categorias mais desagregadas, como indústrias de pregos, ou muito mais agregadas, como o setor industrial. Portanto, algumas vezes nesse presente trabalho os termos setores e industriais podem ser utilizados como sinônimos.

²⁰ Alcántara, V., Padilla, E., 2009. Input-output subsystems and pollution: an application to the service sector and CO₂ emissions in Spain. *Ecological Economics* 68 (3), 905–914. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.07.010>.

Espanha e Andrew and Forgie (2008²¹, apud Wiedmann, 2009) na Nova Zelândia e outros. (Wiedmann, 2009)

Para contribuir para investigações de como as emissões se relacionam com a estrutura produtiva, neste trabalho será utilizada uma metodologia diferente dessas anteriormente citadas. Dietzenbacher, Romero e Bosma (2005), ao tentarem capturar a força entre os elos produtivos da economia na região de Andaluzia na Espanha, afirmam que não só a força do encadeamento entre dois setores revela informações importantes, mas também a “distância econômica” entre estes dois. Isto é, se o setor i depende em grande parte no setor j , é relevante saber se esta dependência é direta ou se ocorre através de um outro setor, ou de dois (ou mais) outros setores. Quando estes dois elementos (tamanho e distância da ligação) são combinados, podemos visualizar a estrutura de produção na forma de cadeias produtivas.

Para encontrar a "distância" média entre as indústrias, utiliza-se a metodologia do *Average Propagation Length* (APL), que pode ser traduzida livremente como "comprimento médio de propagação". O APL mede o número médio de etapas que uma mudança exógena, como o aumento da demanda final por um produto, leva para se propagar ao longo da cadeia produtiva. Esse indicador avalia a distância média que um impacto percorre, desde sua origem até outros setores da economia, levando em conta as interações setoriais. Uma das vantagens do APL é que ele é unidirecional, ao contrário dos indicadores de encadeamento para trás e para frente, que consideram direções distintas na cadeia produtiva (Romero e Dietzenbacher, 2007).

Tendo isso em vista, é possível utilizar o aparato de matriz insumo produto e APL com adição de vetores exógenos à própria produção, tais como de uso de energia, água e emissões de GEE decorrentes da produção. Isso permite contabilizar tudo que foi gerado desde a extração das matérias-primas até o produto final (Miller e Blair, 2009; Gramkow, 2011). Fang, Duan e Cheng (2020) afirma que a análise APL pode fornecer uma visão da trajetória de emissões de carbono na estrutura produtiva. Portanto, essa é a justificativa para que nesse trabalho se utilize esse ferramental para encontrar as trajetórias de emissão advindas da estrutura produtiva brasileira, a partir das matrizes insumo-produto nacionais estimadas e disponibilizadas por Alves-

²¹ Andrew, R., Forgie, V., 2008. A three-perspective view of greenhouse gas emission responsibilities in New Zealand. *Ecological Economics* 68 (1–2), 194–204. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.02.016>.

Passoni e Freitas (2020) com 67 setores associadas a um vetor de emissões setoriais disponibilizado por Costa, Costa e Young (2024).

2.3. *Average Propagation Length* e a Matriz Insumo Produto

É suposto que uma economia seja composta de “n” setores e que cada um oferte e demande insumos uns para os outros. A produção de cada setor ou é direcionada para o consumo intermediário de outro setor ou para a demanda final – exportação de bens e serviços, consumo das famílias ou governo e investimentos. Expressando isto algebricamente, considere x_i como o valor total da produção do setor i , f_i a demanda final do produto do setor i e z_{ij} representa os fluxos interindustriais do setor i para o j , incluindo o autoconsumo quando $i = j$. A função que representa a maneira pela qual o setor i distribui seus produtos para outros setores e para a demanda final é:

$$x_i = z_{i1} + \dots + z_{ij} + \dots + z_{in} + f_i = \sum_{j=1}^n z_{ij} + f_i \quad (1).$$

Expandindo para todos os “n” setores, encontra-se o total produzido pela economia. Escrevendo de maneira matricial o agregado da produção da economia:

$$x = Zi + f^{22} \quad (2).$$

Em que x é um vetor coluna de tamanho n que representa o valor total de produção de uma economia, Z é matriz de fluxos interindustriais, i é um vetor coluna unitário de n linhas e f é um vetor coluna de tamanho n que representa o agregado da demanda final.

Um importante conceito para as matrizes insumo-produto são os coeficientes técnicos (a_{ij}). Dado a produção total de um setor (x_j) e sua relação interindustrial com outros setores (z_{ij}), é possível estabelecer uma relação de participação deste setor i no setor j , isto é, a participação monetária dos insumos do setor i para a produção de uma unidade monetária do setor j . Como exemplo, o quanto a indústria de produção de carros j demandou de insumos da indústria de aço i pode ser visualizada na seguinte equação:

$$a_{ij} = \frac{z_{ij}}{x_j} \rightarrow a_{ij} x_j = z_{ij} \quad (3).$$

²² Esse texto seguirá a notação utilizada por Miller e Blair (2009), em que letras minúsculas, como x e f , serão vetores coluna e letras maiúsculas, como Z , serão matrizes.

É importante ressaltar que estes coeficientes técnicos possuem como hipótese que os retornos de escala são constantes. Então, se a produção do setor j triplicasse de tamanho, a demanda pelos produtos do setor i também triplicariam. Isto é denominado como hipótese de proporcionalidade.

Substituindo (3) em (2), encontra-se (4):

$$x_i = a_{i1}x_1 + \dots + a_{ii}x_i + \dots + a_{in}x_n + f_i \quad (4).$$

Expandindo para toda a economia, é possível explicitar a dependência dos fluxos interindustriais para o setor i . A partir de (4):

$$f_i = x_i - a_{i1}x_1 - \dots + a_{1i}x_i - \dots - a_{1n}x_n \quad (5).$$

Expandido (5) para toda economia, tem-se o seguinte conjunto de equações:

$$f_1 = x_1 - a_{11}x_1 - \dots - a_{1i}x_i - \dots - a_{1n}x_n$$

⋮

$$f_n = x_n - a_{n1}x_1 - \dots - a_{ni}x_i - \dots - a_{nn}x_n.$$

Agrupando $x_1 - a_{11}x_1$ na primeira equação e em todas as seguintes, tem-se:

$$f_1 = x_1(1 - a_{11}) - a_{1i}x_i \dots - \dots - a_{1n}x_n$$

⋮

$$f_n = -a_{n1}x_1 - \dots - a_{ni}x_i - \dots + x_n(1 - a_{nn})$$

A partir disso, sendo \mathbf{A} uma matriz de coeficiente técnicos, tem-se na forma matricial:

$$\mathbf{A} = \mathbf{Z}\hat{\mathbf{x}}^{-1} \quad (6).$$

Ao utilizar (1) e (6), é possível reescrever como:

$$\mathbf{x} = \mathbf{Ax} + \mathbf{f} \quad (7).$$

Após fazer algumas manipulações utilizando álgebra matricial a partir da equação (7), encontra-se a seguinte equação (8):

$$\mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{f} = \mathbf{Lf} \quad (8).$$

Em que \mathbf{I} é uma matriz identidade, $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} = \mathbf{L}$ é conhecida como a matriz inversa de Leontief ou matriz dos coeficientes diretos e indiretos. Essa transformação serve para deixar explícito o valor bruto da produção que é necessário para suprir, de maneira direta e indireta, a demanda final de uma determinada economia.

²³ Comumente na linguagem matemática, o símbolo $\hat{\mathbf{x}}$ denota matriz diagonal com os elementos do vetor ao longo da diagonal principal.

A partir de L é possível realizar transformações a fim de encontro das matrizes de insumo-produto estendidas ambientalmente, em que estas contam com coeficientes setoriais de emissões, energia e outros. Para realizar uma análise de emissões de GEE na produção é necessário criar um vetor de coeficiente de emissões, que denominaremos de e_i .

$$e_i = \frac{\text{Emissões associadas ao setor } i}{\text{Valor da produção de } i}$$

Esse vetor e_i será diagonalizado e será chamado de \hat{E} , conforme demonstrado em seguida.

$$\hat{E} = \begin{bmatrix} e_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & e_n \end{bmatrix}$$

Ao pré-multiplicar a matriz \hat{E} pela inversa de Leontief, encontra-se uma matriz que calcula a intensidade de emissões, diretas e indiretas, incorporada em cada unidade monetária da demanda final de cada setor. A interpretação desta nova matriz são as emissões atribuídas à demanda final, considerando a cadeia produtiva completa. Em termos práticos, ela indica o total de emissões que diferentes setores "incorporam" ao produzir bens e serviços para atender à demanda final em qualquer setor.

$$\hat{E}L = \begin{bmatrix} e_1 l_{11} & \cdots & e_1 l_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ e_n l_{n1} & \cdots & e_n l_{nn} \end{bmatrix}$$

Uma alteração nessa nova matriz $\hat{E}L$ é que sua diagonal principal foi normalizada, isto é, substituída por 1. Isso foi feito para que os efeitos intrasetoriais fossem retirados uma vez que o intuito da pesquisa é analisar como os setores se relacionam através dos efeitos de produção e emissão.

Pode-se afirmar que se a estrutura produtiva permanecer a mesma, um aumento na demanda final vai exigir que a produção seja aumentada da seguinte maneira:

$$\Delta x = L(\Delta f)$$

O elemento P_{ij} ilustra a produção no setor i para satisfazer um aumento unitário na demanda final no setor j . Expandindo a inversa de Leontief, têm-se: $L = (I - A)^{-1} = I + A + A^2 + A^3 + \dots$. Em que $\Delta x = L(\Delta f) = (I + A + A^2 + A^3 + \dots)(\Delta f)$. O aumento total da produção do setor i , em razão do aumento da demanda final no setor j , é:

$$\Delta x_i = P_{ij} = a_{ij} + \sum_k a_{ik} a_{kj} + \sum_k \sum_m a_{ik} a_{km} a_{mj} + \dots \quad (9)$$

O primeiro termo da expressão (a_{ij}) representa o efeito direto da produção em uma etapa, enquanto os outros termos representam os efeitos indiretos. O segundo termo, que contém o somatório, $a_{ik}a_{kj}$ representa o efeito indireto de duas etapas que acontece via setor k. O aumento na demanda final na indústria i aumentará a produção da indústria k em a_{kj} , o que requer insumos adicionais (e, portanto, uma produção adicional) da indústria i. Isso vale para cada setor, em que são contabilizados os efeitos indiretos. No caso de $i = j$, o efeito inicial também deve ser incluído, pois a demanda final precisa ser produzida antes de tudo. Nesse caso, (9) torna-se:

$$\Delta x_j = P_{jj} = 1 + a_{jj} + \sum_k a_{jk}a_{kj} + \sum_k \sum_m a_{jk}a_{km} a_{mj} + \dots \quad (10)$$

A partir de 9 e 10, o APL entre os setores i e j pode ser encontrado. Se a demanda final na indústria j aumentar uma unidade, a produção no setor i é afetada em: $\Delta x_i = P_{ij}$. Em termos de coeficiente, a_{ij}/P_{ij} é o primeiro passo, $(\sum_k a_{ik} a_{kj})/P_{ij}$ é o segundo e assim por diante. Portanto, o número médio de etapas para que o aumento na demanda final no setor j influencie a produção no setor i pode ser calculado como:

$$\frac{(1 * a_{ij} + 2 * \sum_k a_{jk}a_{kj} + 3 * \sum_k \sum_m a_{jk}a_{km} a_{mj} + \dots)}{P_{jj} - 1} \quad (11)$$

Se $i = j$, o efeito inicial da demanda final não fornece nenhuma informação sobre as dependências entre os setores. Dessa maneira, um aumento de uma unidade na demanda final no setor j gera um aumento na produção do setor j de $\Delta x_j - 1 = p_{jj} -$

1. O APL pode ser calculado:

$$\frac{(1 * a_{jj} + 2 * \sum_k a_{jk}a_{kj} + 3 * \sum_k \sum_m a_{jk}a_{km} a_{mj} + \dots)}{P_{jj}} \quad (12)$$

(11) e (12) podem ser reescritas da forma matricial.

$$H = 1 * A + 2 * A^2 + 3 * A^3 + \dots = \sum_{t=1}^{\infty} tA^t$$

Pré-multiplicando H por $(I - A)$, tem-se:

$$(I - A)H = A + A^2 + A^3 + \dots = L - I$$

$$H = L(L - I)$$

A matriz T, que fornece dados os comprimentos médios de propagação e os elementos de p_{ij} e p_{jj} da matriz inversa de Leontief estendida ambientalmente ($\hat{E}L$), pode ser calculada como:

$$T_{ij} = \begin{cases} \frac{h_{ij}}{p_{ij}} & \text{se } i \neq j; \\ \frac{h_{jj}}{(p_{jj} - 1)} & \text{se } i = j; \end{cases}$$

A matriz de APL ambientalmente estendida com emissões (T_{ij}) fornece uma visão detalhada da relação entre as relações intersetoriais e os impactos ambientais em termos de emissões, auxiliando a identificar como as emissões estão distribuídas ao longo da estrutura produtiva.

A interpretação de T_{ij} é que ela fornece o “comprimento” médio de propagação das emissões entre os setores, isto é, uma *proxy* de como setores estão conectados ao longo de uma cadeia produtiva para que as emissões de um setor específico influenciem outro setor. Portanto, setores com uma maior intensidade de propagação, isto é, com valores acima da média, possuem valores nominais de APL ambientalmente estendida com emissões mais elevados. Estes setores podem ou não estarem conectados à diversas cadeias produtivas, propagando suas emissões para os setores com os quais interagem.

Isso é importante porque é visualizado o padrão implícito de emissões, diferente das análises das suas próprias emissões, pois joga luz na importância de identificar os setores mais críticos na cadeia produtiva, ou seja, os possuem maior potencial de espalhar seus impactos ambientais para outros setores.

Similarmente ao que foi feito em $\hat{E}L$, a diagonal principal de T_{ij} também foi normalizada para retirar os efeitos intrasetoriais.

A partir dessa matriz, é possível fazer algumas manipulações para encontrar indicadores de quais setores possuem maior comprimento de emissões dentro do sistema econômico. O primeiro indicador a ser calculado será o *backward linkage* (APL-BL), que mede o número médio de etapas que leva para que um aumento no setor j se propague por todo o processo de produção e afete o valor da produção no setor i . Esse indicador, $APL - BL$, pode ser calculado da seguinte maneira:

$$APL - BL_j = \frac{b_j}{n}$$

Em que b_j é a soma dos elementos das colunas da matriz T_{ij} , e n corresponde ao número de setores. Os setores serão classificados de acordo com os valores médios do APL-BL, do mais alto ao mais baixo. Portanto, quanto maior for o valor médio de APL-BL, isso indica que o comprimento de emissões desse setor para trás

é elevado. Isso significa que este setor difunde emissões através de suas relações intersetoriais na estrutura produtiva, tornando-se um setor crítico em termos de emissões, pois sua produção demanda bens e/ou serviços de etapas anteriores que são intensivas em emissões.

Por outro lado, um menor valor de APL-BL significa que, para atender à demanda final desse setor, ele não possui um comprimento de emissões elevadas comparativamente. Logo as atividades de produção como um todo envolvem etapas menos emissoras, o que indica que este setor é menos dependente de insumos intensivos em carbono. Isso sugere que o setor contribui relativamente menos para a difusão de emissões através das suas relações intersetoriais.

Similarmente, o *forward-linkage* (APL-FL) é calculado, em que b_i é a soma das linhas. Esse indicador ilustra as posições dos setores no modelo orientado pela oferta.

$$APL - FL_i = \frac{b_i}{n}$$

Setores com valores mais altos de APL-FL indicam que os mesmos difundem sua emissão através de relações comerciais com outros setores, através da oferta de seus bens. Complementarmente, setores com baixo APL-FL são aqueles que não possuem bens tão intensivos em emissão, portanto, não contribuem tanto para as emissões nas cadeias produtivas que participam.

Uma diferença do indicador APL-FL e APL-BL para os tradicionais indicadores de encadeamento para trás e para frente é que não necessariamente um alto valor nominal significa que este setor está mais a montante ou a jusante na cadeia produtiva. Isso acontece porque esses indicadores que contemplam a perspectiva da emissão incorporam o coeficiente de emissões, logo, esses valores são fortemente influenciados pelas emissões. Seus altos valores significam que eles ajudam a espalhar indiretamente as emissões através das cadeias produtivas, seja na perspectiva da oferta ou da demanda.

Por fim, será realizada uma modificação nos indicadores APL-FL e APL-BL com o intuito de uma melhor compreensão destes em razão do perfil de emissões brasileiras, que, por ser muito influenciada pelo setor da agropecuária, tão maior em nível comparativamente aos outros, acaba por distorcer a análise. Para que isso não prejudique a interpretação, realizou-se uma transformação logarítmica dos APL-FL e APL-BL para que esses dados ficassem mais uniformemente distribuídos, facilitando análise estatística.

Por fim, esses indicadores de encadeamento, APL-FL e APL-BL, foram normalizados em uma escala de 0 a 10 da seguinte maneira:

$$BL_{normalizado} = \frac{BL_i - \max(0, \text{mín}BL)}{\text{máx}BL - \max(0, \text{mín}BL)}$$

$$FL_{normalizado} = \frac{FL_i - \max(0, \text{mín}FL)}{\text{máx}FL - \max(0, \text{mín}FL)}$$

Os termos $\max(0, \text{mín}BL)$ e $\max(0, \text{mín}FL)$ representam o fato do valor mínimo ser diferente de 0. A adoção desses termos busca evitar que indicador normalizado seja fortemente influenciado para baixo pelos setores que não possuem emissões setoriais.

CAPÍTULO 3 - ANÁLISE DO PADRÃO DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA DA ESTRUTURA PRODUTIVA BRASILEIRA

3.1. Estrutura produtiva, inserção comercial e padrão de emissões do Brasil

O Brasil possui a sua inserção no comércio internacional como um importante fator explicativo de muitas das suas dinâmicas. O país, durante a primeira metade do século XX, era caracterizado por ter uma estrutura produtiva agrária-exportadora, o que não era exatamente exclusividade do país, e sim de um modelo de desenvolvimento muito próprio da América Latina. As exportações eram o componente mais importante da renda, como também o setor exportador representava o centro dinâmico de toda a economia. Um ponto interessante de se assinalar é que a reduzida atividade industrial, juntamente com o setor agrícola, eram insuficientes para dar à atividade interna um dinamismo próprio. Assim, o crescimento econômico ficava basicamente atrelado ao comportamento da demanda externa por produtos primários, dado o caráter eminentemente dependente e reflexo das economias exportadoras da região. (Tavares, 2000 [1972])

Antes da década de 50, o crescimento da produção industrial se via fortemente vinculado ao desempenho do setor agrícola-exportador, em que o mercado interno de produtos manufaturados dependia diretamente da renda do setor principal da economia brasileira. A partir da 1ª Guerra Mundial e das sucessivas crises que aconteceram, o Estado começou a adotar políticas que acabaram desenvolvendo o setor industrial. Medidas que envolviam restrições e controle das importações, aumento da taxa de câmbio e compra de excedentes ou financiamento de estoques, tinham como principal objetivo manter a renda frente ao desequilíbrio externo, sem foco em estimular a atividade interna. No entanto, o processo de industrialização que se iniciou a partir daí encontrou, sem dúvida alguma, seu apoio na manutenção da renda interna resultante daquela política. Portanto, é inequívoco dizer que uma das consequências direta dessas sucessivas crises pode ser encarada como o ponto crítico da ruptura do funcionamento do modelo primário-exportador (Tavares, 2000[1972]; Suzigan, 2000).

O processo de industrialização brasileiro começou no século XX, sendo acelerado a partir da segunda metade do século pelo Estado, não sendo uma exceção

do que foi mencionado na seção 1.1 em que houve uma “virada de chave” desenvolvimentista em grande parte causada pela conjuntura econômica, social e política vigente no período, conforme mencionado por Mazat e Medeiros (2017). Esse processo representou uma mudança estrutural importante, em que houve uma mudança significativa em diversos componentes econômicos tanto internos, tais como a estrutura de emprego e produção, quanto externos, como a inserção comercial do país. Na década de 1960, pela primeira vez na história, o Brasil passou a exportar, em valores, mais produtos manufaturados do que primários. (Pereira, Silva e Larruscainc, 2023)

Suzigan (2000) descreve o processo de industrialização brasileira em três fases. A primeira foi uma fase de desenvolvimento industrial, entre 1900 e 1929 que, conforme descrito acima, foi dependente da agricultura de exportação que, por sua vez, induzia o crescimento da produção industrial à medida que criava mercado, gerava capacidade de importar e estimulava a formação de capital. Seu padrão de desenvolvimento era estruturalmente restrito, centrado nas indústrias tradicionais produtoras de bens de consumo e alguns insumos menos sofisticados, embora já estivesse ocorrendo uma pequena diversificação em direção aos insumos pesados.

A segunda fase, ocorrida entre 1933 e 1980, foi quando o crescimento da produção industrial adquiriu dinamismo próprio, impulsionado primeiro pela substituição de importações. Cabe ressaltar que este último conceito empregado é adotado para designar em geral o processo de desenvolvimento dos países subdesenvolvidos, porém, a sua denominação gera interpretações equivocadas, pois dá a impressão de que consiste em uma operação simples e limitada de retirar ou diminuir componentes da pauta de importações para substituí-los por produtos nacionais. Esse processo decorre da necessidade de produzir internamente alguns bens que antes se importavam. Por outro lado, no lugar desses bens substituídos aparecem outros e à medida que o processo avança isso acarreta um aumento da demanda derivada por importações (de produtos intermediários e bens de capital) que pode resultar numa maior dependência do exterior, em comparação com as primeiras fases do processo de substituição. Em síntese, a industrialização vai passando de setores de instalação “fácil”, pouco exigentes em matéria de tecnologia, capital e escala, a segmentos cada vez mais sofisticados e exigentes (Tavares, 2000[1972]; Suzigan, 2000).

Nessa segunda fase, o padrão de desenvolvimento industrial avançou consideravelmente em termos estruturais, convergindo para o padrão estrutural e tecnológico das economias industrializadas, embora sem alcançá-lo inteiramente. Existia uma vontade política que dava direção aos processos industrializantes, apesar de haver também políticas de assistência à agricultura. Por fim, na terceira fase, que compreende o período 1981 e 1999, o dinamismo da produção industrial foi enfraquecido por causas estruturais, como o fim da política de substituição de importações e diversas crises macroeconômicas. O padrão de desenvolvimento industrial regrediu, e os esforços econômicos se concentravam na estabilização macroeconômica e em mudanças institucionais, abandonando-se qualquer orientação política de longo prazo, especialmente quanto ao desenvolvimento industrial (Suzigan 2000).

Acompanhando as mudanças estruturais ocorridas na produção brasileira durante a segunda metade do século XX, transformações na composição de fontes energéticas desses processos também aconteceram, e como se sabe, estas são importantes fontes de emissões de GEE. Wachsmann (2005) encontra dados sobre as fontes utilizadas no período entre 1970 e 2000. O autor afirma que em 1970 a maior quantidade de emissão foi causada pela queima da lenha, cerca de 40% das emissões totais das fontes energéticas. O uso de óleo combustível e de óleo diesel contribuiu com 24% e 17%, respectivamente, às emissões totais de fontes energéticas neste mesmo ano. Já no ano 2000 é possível notar uma mudança de padrão de emissões, em que o consumo de óleo diesel participa com 30% nas emissões totais energéticas do ano de 2000, seguidas por outras fontes (22%), lenha (13%) e óleo combustível (12%).

O segundo dado trazido por Wachsmann (2005) são diferenças energéticas setoriais, e que como consequência, gerava diferenças em termos de emissões. A lenha, em 1970, era a fonte primordial do setor de agropecuária e extração. No caso da agricultura, que também abrange as carvoarias onde a lenha é transformada em carvão vegetal, a lenha não perde sua predominância ao longo dos 30 anos. A eletricidade apresenta um crescimento menos pronunciado que em outros setores, porém, devido à maior mecanização da produção primária, sua participação na matriz energética deste setor foi crescente ao longo do período. O óleo diesel e a eletricidade agem como força motriz tanto na lavoura quanto no beneficiamento dos produtos, a primeira fonte abastecendo motores de combustão e a segunda alimentando

máquinas elétricas. Já a indústria de transformação possuía uma maior diversidade em termos energéticos, logo, não era uma tarefa fácil traçar um perfil de emissões dado o emprego de diferentes fontes energéticas pelos setores. A siderurgia representou em todos os anos o setor de maior emissão com tendência crescente, chegando em 2000 a uma participação de mais que 40% nas emissões do setor de transformação. Já outros setores, como têxteis e vestuário, que apresentam maior emprego de fontes limpas, portanto, verificam-se menores níveis de emissões energéticas, ou seja, o oposto. Logo, para entender como um todo seria necessário olhar caso a caso, lembrando que esses dados são decorrentes de emissões das fontes energéticas.

Durante a década de 1990, a CEPAL preparou o relatório “*El desarrollo sustentable: transformación productiva, equidad y medio ambiente*” que possuía como objetivo servir de base para o processo preparatório regional da América Latina para a Eco-92. Apesar de não jogar luz sobre o padrão de emissões brasileiros em específico, traz evidências como a região latino-americana se comportava em termos de impactos ambientais. O relatório, conforme pode ser inferido a partir do próprio título, incorpora a dimensão ambiental às análises que vinham sendo conduzidas no âmbito da transformação produtiva com equidade. O pano de fundo da argumentação defendida no documento é a ideia de que os estilos de desenvolvimento que os países latino-americanos adotaram tiveram resultados associados à deterioração do meio ambiente na região. A saída da condição de subdesenvolvimento necessariamente precisaria envolver a dimensão ambiental, aqui posta de maneira ampla, envolvendo questões como poluição dos oceanos, preocupações com gerações de resíduos e outros, não tendo um olhar exclusivo sobre a questão de emissões de GEE. O que o documento traz de novidade é a relação entre desenvolvimento e deterioração ambiental, apresentando ideias mais gerais. (Gramkow, 2011)

No relatório, em uma seção específica é detalhado o impacto que as emissões de GEE, decorrentes da queima de combustíveis fósseis, emissões industriais, desmatamento, processos de fermentação durante as atividades agrícolas e o uso de fertilizantes contribuem para o acúmulo de GEE na atmosfera. Um dado interessante sobre o perfil de emissões da América Latina, é que em 1988 a região contribuiu com cerca de 13% das emissões mundiais de dióxido de carbono de origem biótica e industrial, e sua contribuição para o efeito estufa, pelo menos nesse aspecto, foi entre 6% e 7%. Essa contribuição era relativamente baixa, mas ainda assim significativa

para o problema global. Portanto, o documento indicava que os países da região deveriam unir-se aos esforços de outras nações, especialmente os países desenvolvidos, em encontrar soluções para esse problema. Uma das propostas era viabilizar opções alternativas, como o aumento do uso de energia hidrelétrica na geração total de eletricidade, desenvolvimento de programas de reflorestamento e que a manutenção ou instalação de novas indústrias altamente emissoras representaria uma ameaça à conservação do meio ambiente. (CEPAL, 1991)

Silva e Perobelli (2012) afirmam que nas décadas de 1970 e 1980, o Brasil não tinha políticas explícitas de mitigação de GEE, mas diversas ações realizadas, mesmo sem um planejamento coordenado, influenciaram a produção setorial, uso de insumos e hábitos de consumo. Essas medidas focavam na economia de energia e na busca de alternativas ao petróleo, principalmente após os choques do petróleo. Destacam-se o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), voltado à eficiência energética, e o Programa Nacional do Álcool (PROALCOOL), criado em 1975 para produzir etanol a partir da cana-de-açúcar, reduzindo a dependência do petróleo. Além disso, o Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados do Petróleo (CONPET), criado em 1991, buscava otimizar o uso de petróleo, melhorando motores a diesel, o que também impactava a conservação de energia e a redução de emissões.

Outra importante mudança que levou a novos rumos da estrutura produtiva brasileira ocorreu na década de 80. Nesse período, a economia brasileira era muito protegida. A parcela dos produtos importados na oferta total de produtos industriais era relativamente baixa, assim como o percentual importado de insumos intermediários. Esse cenário começou a ser transformado a partir do fim dessa década e durante a seguinte com a abertura comercial e a estabilização monetária. Houve uma redução significativa das barreiras não tarifárias e a diminuição expressiva das tarifas alfandegárias nesse período. Isso desencadeou intensas reestruturações industriais, como a modernização produtiva, especialmente após a sobrevalorização cambial a partir de 1994, já que ao baratear as importações, por um lado, aumentou a parcela dos importados na oferta doméstica de bens finais e intermediários e, por outro, liberou o consumo reprimido das famílias pela elevação do poder de compra do Plano Real, pressionando ainda mais as importações. (Morceiro e Guilhoto, 2020)

Esse cenário de maior abertura comercial aliado ao fenômeno ocorrido durante os anos 2000, conhecido como “boom” das commodities, em que houve um aumento

da demanda pelas matérias-primas no mercado mundial, foi bastante significativo em determinar as trajetórias da estrutura produtiva e da inserção comercial brasileira. Castilho, Costa e Torracca (2018) afirmam ter ocorrido um crescimento considerável do valor das exportações devido aos maiores preços e que o caráter dessas exportações foi predominantemente de produtos agrícolas e minerais quando comparado aos produtos manufaturados. Isso ocorreu mesmo em um contexto de valorização do câmbio, cujo efeito negativo sobre as exportações foi mais do que compensado pelo efeito positivo da alta dos preços internacionais desses produtos. A consequência direta foi a transformação da pauta de exportação brasileira de forma significativa. Os autores levantam dados de que produtos básicos respondiam por aproximadamente metade das exportações brasileiras em 2013, mesma participação observada em 1978. Os produtos manufaturados perderam, em compensação, cerca de 20 pontos percentuais de participação nas exportações totais desde o ano 2000, quando as exportações desses bens apresentaram seu melhor desempenho. Esse processo é conhecido na literatura como “reprimarização da pauta de exportadora”.

Outra característica levantada por Castilho, Costa e Torracca (2018) sobre a pauta exportadora é o seu caráter regional. Os autores identificaram três diferentes grupos de países, segundo o peso dos manufaturados e sua composição entre os parceiros comerciais brasileiros. O primeiro grupo reúne os países latino-americanos e alguns países em desenvolvimento africanos ou do Oriente Médio, e se caracteriza por ter o peso dos produtos manufaturados nas exportações totais elevado. O segundo grupo está no espectro oposto do primeiro, em que predominam bens agrícolas e minerais, com baixo grau de elaboração industrial. O principal destino desse são as economias asiáticas, como Coreia do Sul, Japão e principalmente a China. O terceiro e último grupo apresenta um perfil misto, porém, o volume das exportações de manufaturados é relevante para o país. O destino desse terceiro grupo consiste nos países da união europeia e Estados Unidos.

A fim de decompor os fatores responsáveis pela evolução das emissões de GEE dos países que compõe o grupo BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul), Oliveira, Ribero e Carvalho (2020) jogam luz sobre o padrão de emissões brasileiro. O primeiro dado levantado pelos autores é que a matriz energética brasileira é sensivelmente diferente em relação aos demais países no mundo, nos quais a energia é majoritariamente via combustíveis fósseis, enquanto no Brasil essa fonte de energia representa menos da metade, tendo uma grande diversificação com quase metade

advindo de fontes renováveis, como biocombustíveis e de energia hidrelétrica. Montoya *et al.* (2021) dão maior robustez quanto a essa afirmativa, levantando dados sobre a matriz energética global que possui cerca de 86 de fontes renováveis contra 14% vindo de fontes renováveis. As principais fontes de energia são o petróleo (31,7%), o carvão (28,2%) e o gás natural (21,6%). No caminho oposto, a matriz energética brasileira tem alta participação relativa de fontes de energia renovável, principalmente a hidrelétrica (18,3%), a cana-de-açúcar (11,6%), a madeira (6,7%) e o etanol (6,2%).

O segundo é que, no período analisado entre 1995 e 2009, não houve mudança significativa no perfil de emissões brasileiras. Os resultados indicam que, no Brasil, o principal componente²⁴ que contribuiu para a expansão de GEE foi a exportação do setor de agropecuária (Oliveira, Ribero e Carvalho, 2020). Contudo, ressalta-se que no perfil de exportações brasileiro dado ao perfil energético do país, Montoya *et al.* (2021) afirma que as exportações do agronegócio incorporam 76% de energia renovável e apenas 24% de energia não renovável. Portanto, o que se percebe aqui é que o perfil altamente emissor decorrente dessa atividade não é de fontes energéticas e sim das características do próprio produto.

Barcelos e Costa (2023) fazem uma análise do comércio bilateral entre Brasil e China, em razão da China ser um dos maiores parceiros comerciais do país. Os autores analisam as relações intersetoriais desta relação comercial em termos econômicos e de emissões embutidas nas transações para o ano de 2016. Resgata-se no trabalho que a aproximação comercial da América Latina e Ásia foi estabelecida ao longo do período de toda Guerra Fria, em que a relação entre os continentes se encaixava no padrão “centro-periferia”, no qual a América Latina se colocava como grande fornecedora de matérias-primas e bens agrícolas, em troca de bens de capital e manufaturados asiáticos. Esta configuração ainda se mantém em tempos atuais, mas a diferença é que durante um primeiro momento um dos principais parceiros comerciais brasileiros do continente era o Japão. O primeiro dado levantado sobre os dois países é relativo à representatividade de comércio, já que esses países

²⁴ Os autores utilizaram a metodologia Análise de decomposição estrutural (SDA), em que este é um método estático comparativo que utiliza dados históricos de dois ou mais períodos para decompor as variáveis de interesse. As variáveis de interesse utilizado por Oliveira, Ribeiro e Carvalho (2020) foram: i. Mudanças na Demanda Intermediária; ii. Mudanças no Consumo das Famílias; iii. Mudanças no nível de Investimento; iv. Mudanças no Consumo do Governo; v. governo para cada um dos setores; v. Mudanças na Demanda Externa, em que este último na Demanda Externa: representa as alterações na demanda total decorrentes da variação das exportações.

apresentam características bastante divergentes com relação ao conteúdo exportado. A pauta brasileira se mantém concentrada em atividades primárias, representando 88,01% das exportações relativas do país. Em contrapartida, a China apresenta uma participação mais diversificada entre os grupos de produtos, contabilizando 46,45% para bens de capital, que, em geral, possuem maior nível de valor agregado.

O segundo dado interessante é o perfil das emissões de GEE embutidas no fluxo comercial entre os dois países. As emissões absorvidas por meio da compra de bens e serviços chineses é predominante no setor industrial, que se concentram nas atividades “Elétricos e Maquinários”, com quase 81% dessas emissões. A intensidade de emissões incorporadas nestas atividades é explicada, em partes, pela geração de energia pelo fato de a produção industrial chinesa ser bastante intensiva em combustíveis fósseis, principalmente, do carvão mineral. Já nas emissões brasileiras incorporada nos bens e serviços vendidos para a China, existe uma composição mais diversificada, que se dá através dos setores de Transporte (19%), Extração e mineração (17,6%), Petróleo e produtos químicos (16,8%) e Elétrico e Maquinário (16,4%). Esses dados vão de encontro ao que Zhang, Zhu e Hewings (2017²⁵, apud Barcelos e Costa (2023) relataram, ao verificar a composição das emissões brasileiras em fluxos comerciais, encontram que os setores de bens intermediários são mais intensivos em emissões do que os de bens primários. Contudo, vale ressaltar que essas estatísticas não conseguem captar as emissões provenientes do desmatamento e uso da terra, que são atualmente as fontes mais significativas de emissões do Brasil (Barcelos e Costa, 2023).

Agora, olhando para o padrão de emissão brasileiro a partir de uma perspectiva “interna”, o relatório da SEEG (2023) informa as emissões por setor. O primeiro a ser analisado é a da agropecuária. Em 2022, as emissões deste foram novamente as mais altas da série histórica, superando o recorde do ano anterior: 617,2 milhões de toneladas de CO₂ equivalente (CO₂e), um aumento de 3,2% em relação a 2021. É o segundo maior incremento percentual desde 2004, quando o aumento foi de 4,1%, e representa emissões maiores que a de países inteiros, como a África do Sul. Desde 1970 as emissões da agropecuária saltaram 191%. No setor de agropecuária são contabilizadas as emissões provenientes da digestão realizada pelos rebanhos de

²⁵ Zhang, Z., Zhu, K., & Hewings, G. J. (2017). A multi-regional input–output analysis of the pollution haven hypothesis from the perspective of global production fragmentation. *Energy Economics*, 64, 13–23. doi: 10.1016/j.eneco.2017.03.007

animais ruminantes²⁶, do tratamento e da disposição que os dejetos desses animais recebem, do cultivo de arroz sobre o regime irrigado, da queima dos resíduos agrícolas do cultivo de cana-de-açúcar e algodão e das originadas pela forma como os solos agrícolas são manejados, considerando o incremento de nitrogênio via utilização de insumos, operações agrícolas e uso de calcário (solos manejados). Do total de emissões do setor, a agricultura representou 20% das emissões e a pecuária 80%. Considerando a emissão total do rebanho, o rebanho destinado para a produção de carne segue sendo muito mais poluente que a de laticínios: o gado de corte emitiu em 2022 o total de 409,5 milhões de toneladas, contra 52,3 milhões do gado de leite. A principal causa do aumento nas emissões foi, assim como em 2021, o crescimento do rebanho bovino. Na agricultura, as emissões se mantiveram estáveis em 2022 e a maior fonte emissora nesse subsetor são os fertilizantes sintéticos nitrogenados.

O segundo setor é o de energia e o de processos industriais. O primeiro refere-se às emissões de GEE provenientes da queima de combustíveis em atividades que necessitam de força motriz ou calor, tais como o transporte, a indústria e a geração de eletricidade. Assim, por exemplo, são alocados em energia tanto os gases emitidos devido à queima de gasolina em um motor que movimenta um carro quanto os gases emitidos pela queima de gás fóssil para aquecer uma caldeira industrial. Além do carbono proveniente do consumo de combustíveis, existem no setor de energia as chamadas emissões fugitivas, escapes (intencionais ou não) de gases durante a exploração, o transporte ou a produção de combustíveis.

Já as atividades industriais emitem GEE quando queimam combustíveis para a obtenção de energia. Essas emissões são, então, alocadas no setor de energia. No entanto, essa não é a única forma de emissão nas indústrias, que também geram gases de efeito estufa devido a transformações físico-químicas que ocorrem durante a fabricação de materiais ou por consequência da utilização de produtos. Tais emissões são alocadas no setor de processos industriais e uso de produtos (PIUP). No entanto, no relatório, os setores de energia e de PIUP estão tratados conjuntamente, uma vez que possuem dinâmicas de aumento ou diminuição de emissões semelhantes, diretamente relacionadas com a estrutura econômica do Brasil, e que, além disso, possuem algumas atividades em comum (atividades

²⁶ As emissões de metano são decorrentes da fermentação entérica, o popular “arroto” do boi (SEEG, 2023).

industriais que emitem tanto pela queima de combustíveis quanto pela transformação ou uso de materiais). (SEEG, 2023)

No ano de 2022, energia e PIUP emitiram juntos 490,6 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente. Esse valor representa 21% das emissões brutas do Brasil no último ano, sendo 18% referentes ao setor de energia e os outros 3% ao de PIUP. Os dois segmentos apresentaram queda em suas emissões em relação ao ano anterior: 5% em energia e 6% em PIUP. O relatório afirma que nos últimos anos, entre 2015 e 2020, ambos os setores vinham experimentando uma tendência de queda ou estagnação em suas emissões, essencialmente devido à desaceleração da economia brasileira nesse período, potencializada pela pandemia de COVID-19. Já em 2021, esse grupo de atividades apresentou uma das maiores taxas de crescimento anual de emissões da série histórica, o que foi um reflexo da reaceleração de atividades econômicas como indústria e transportes, bem como de um maior uso de combustíveis fósseis. Em 2022, as emissões voltam a apresentar queda. O grande vetor desse resultado, desta vez, não foi a economia, que alcançou indicadores relativamente positivos em tal ano, mas sim as condições climáticas extremamente favoráveis para a geração hidrelétrica (SEEG, 2023).

Olhando especificamente para atividade industrial, as emissões, que consideram tanto a queima de combustíveis para obtenção de energia quanto os processos industriais e o uso de produtos, apresentaram uma queda de 4,1 milhões de toneladas de CO₂e em 2022 em relação a 2021, reflexo, principalmente, da retração das produções de aço e cimento. Já a atividade de transportes, em sentido oposto, permaneceu incrementando consideravelmente suas emissões e atingiu o patamar de 216,9 Mt CO₂e, reflexo do aumento dos deslocamentos de cargas e passageiros e de um conseqüente maior consumo de combustíveis fósseis em veículos. O transporte é notavelmente a principal atividade emissora dos setores de energia e processos industriais, responsável por 44% do conjunto total de suas emissões. Como solução apontada é fundamental que o país busque alternativas ao uso do diesel de petróleo no transporte e de planejamento urbano em torno dos modos ativos e coletivos, menos emissores e, sobretudo, mais democráticos que o uso do carro (SEEG, 2023).

Outra fonte de emissão decorrente dos PIUP, mas, que está sendo contabilizado em outra dimensão são os efluentes líquidos industriais. Em 2022, o setor de resíduos foi responsável pela emissão de 91,3 milhões de toneladas de CO₂e, o que representou uma queda de 1% em relação ao ano anterior. No entanto, as emissões

se mostraram estáveis nos últimos três anos. Do total emitido, a principal contribuição permanece associada à disposição de resíduos sólidos em aterros controlados, lixões e aterros sanitários (65,5%), seguida do tratamento de efluentes domésticos (26,6%), do tratamento de efluentes líquidos industriais (6,1%) e contribuições pouco significativas da incineração, da queima a céu aberto e da compostagem, que são práticas pouco adotadas no Brasil. As principais atividades industriais que contribuem para as emissões do setor são a produção de leite cru e de carne bovina (SEEG, 2023).

É importante mencionar outra categoria que compõe o padrão de emissão brasileiro, participando com cerca de 48% das emissões de GEE no ano de 2022, são as mudanças de uso da terra e florestas (SEEG, 2023). Apesar de certamente essas emissões terem uma correlação com a estrutura produtiva, já que muitas das vezes o desmatamento, que é uma das suas principais causas, acontece em razão da atividade agropecuária, é difícil elaborar uma relação direta entre as duas variáveis. Portanto, essa análise não entrará nesse trabalho.

Em conclusão, é possível afirmar que o Brasil não se diferencia em termos gerais do que já foi mencionado em CEPAL (2023) sobre a especificidade da América Latina quanto ao padrão de emissões. Isso acontece em razão do padrão de especialização da economia brasileira e sua inserção comercial, em que em anos recentes teve um aumento da importância de produtos primários, que contribuem para elevação de emissões. A agricultura e geração de energia são dois importantes elementos caracterizadores do perfil emissor do país, tendo uma trajetória crescente nos anos recentes. As emissões das atividades industriais apesar de serem relativamente baixas quando comparadas a esses dois vetores de emissão não são negligenciáveis.

3.2. Emissões de carbono por setor: o caso brasileiro

Dado como a estrutura produtiva brasileira se comporta em termos de emissões de maneira agregada, torna-se relevante compreender a dinâmica setorial por detrás das emissões a partir da desagregação por diferentes atividades econômicas disponibilizada pelo Sistema Contas Nacional (SCN/IBGE). Nesse presente trabalho, para facilitar o entendimento, será utilizada uma agregação setorial própria baseada em uma modificação do que Costa, Costa e Young (2023)

propuseram a partir do SCN. A desagregação do SCN, que possui 67 setores, está reagregados em 8 grandes setores em Costa, Costa e Young (2023): Agricultura e produção florestal; Pecuária; Mineração; Manufatura; Energia elétrica, gás natural e outras utilidades; Água, esgoto e gestão de resíduos; Transportes; e Serviços.

Aqui será adotada uma nova agregação baseada em Costa, Costa e Young (2023), em que Agricultura e produção florestal e Pecuária serão unificados como Agropecuária e Mineração será tratado como Indústria Extrativa. Portanto, será utilizada a seguinte agregação nesse trabalho: Agropecuária; Indústria Extrativa; Manufatura; Energia elétrica, gás natural e outras utilidades; Água, esgoto e gestão de resíduos; Transportes; e Serviços, que totaliza 7 grandes setores.

Para facilitar a análise tanto na perspectiva mais geral quanto no olhar setorial desagregado, nesse trabalho as agregações de setores serão referenciadas como grandes setores, que estes são compostos por subsetores equivalentes às 67 atividades econômicas descritas no SNC. A organização proposta está exibida no Quadro 1.

Quadro 1: Agregação de grandes setores e sua equivalência em subsetores

Subsetores	Grandes setores
Agricultura, inclusive o apoio à agricultura e a pós-colheita	Agropecuária
Pecuária, inclusive o apoio à pecuária	
Produção florestal pesca e aquicultura	
Extração de carvão mineral e de minerais não metálicos	Indústria extrativa
Extração de petróleo e gás, inclusive as atividades de apoio	
Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração	
Extração de minerais metálicos não ferrosos, inclusive beneficiamentos	
Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca	Manufatura
Fabricação e refino de açúcar	
Outros produtos alimentares	
Fabricação de bebidas	
Fabricação de produtos do fumo	
Fabricação de produtos têxteis	
Confecção de artefatos do vestuário e acessórios	
Fabricação de calçados e de artefatos de couro	
Fabricação de produtos da madeira	
Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	
Impressão e reprodução de gravações	
Refino de petróleo e coquerias	
Fabricação de biocombustíveis	
Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros	
Fabricação de defensivos, desinfetantes, tintas e químicos diversos	
Fabricação de produtos de limpeza, cosméticos/perfumaria e higiene pessoal	
Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos	
Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	
Fabricação de produtos de minerais não metálicos	
Produção de ferro gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura	

Metalurgia de metais não ferrosos e a fundição de metais	
Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	
Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos	
Fabricação de máquinas e equipamentos elétricos	
Fabricação de máquinas e equipamentos mecânicos	
Fabricação de automóveis, caminhões e ônibus, exceto peças	
Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores	
Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores	
Fabricação de móveis e de produtos de indústrias diversas	
Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	
Energia elétrica, gás natural e outras utilidades	Energia elétrica, gás natural e outras utilidades
Água, esgoto e gestão de resíduos	Água, esgoto e gestão de resíduos
Construção	Serviços
Comércio por atacado e varejo	
Transporte terrestre	
Transporte aquaviário	Transporte
Transporte aéreo	
Armazenamento, atividades auxiliares dos transportes e correio	
Alojamento	
Alimentação	
Edição e edição integrada à impressão	
Atividades de televisão, rádio, cinema e gravação/edição de som e imagem	
Telecomunicações	
Desenvolvimento de sistemas e outros serviços de informação	
Intermediação financeira, seguros e previdência complementar	
Atividades imobiliárias	
Atividades jurídicas, contábeis, consultoria e sedes de empresas	
Serviços de arquitetura, engenharia, testes/análises técnicas e P&D	
Outras atividades profissionais, científicas e técnicas	Serviços
Aluguéis não imobiliários e gestão de ativos de propriedade intelectual	
Outras atividades administrativas e serviços complementares	
Atividades de vigilância, segurança e investigação	
Administração pública, defesa e seguridade social	
Educação pública	
Educação privada	
Saúde pública	
Saúde privada	
Atividades artísticas, criativas e de espetáculos	
Organizações associativas e outros serviços pessoais	
Serviços domésticos	

Fonte: Elaboração própria a partir de Costa, Costa e Young (2023)

Nos grandes setores da Manufatura e da Indústria Extrativa, é possível identificar quatro grupos industriais que os compõe: commodities agrícolas, commodities industriais, intensivos em tecnologia e indústria tradicional. Essa classificação adotada apoia-se na abordagem analítica desenvolvida no Boletim de Indústria e Comércio Exterior preparado pelo Grupo de Indústria e Competitividade (GIC-IE/UFRJ), em que existem setores industriais que obedecem a padrões de concorrência semelhantes (Torracca, 2018).

Essas equivalências do grande setor da Manufatura e da Indústria Extrativa com esses grupos industriais estão apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2: Equivalência dos subsetores que compõe a Manufatura e Indústria Extrativa em grupos industriais

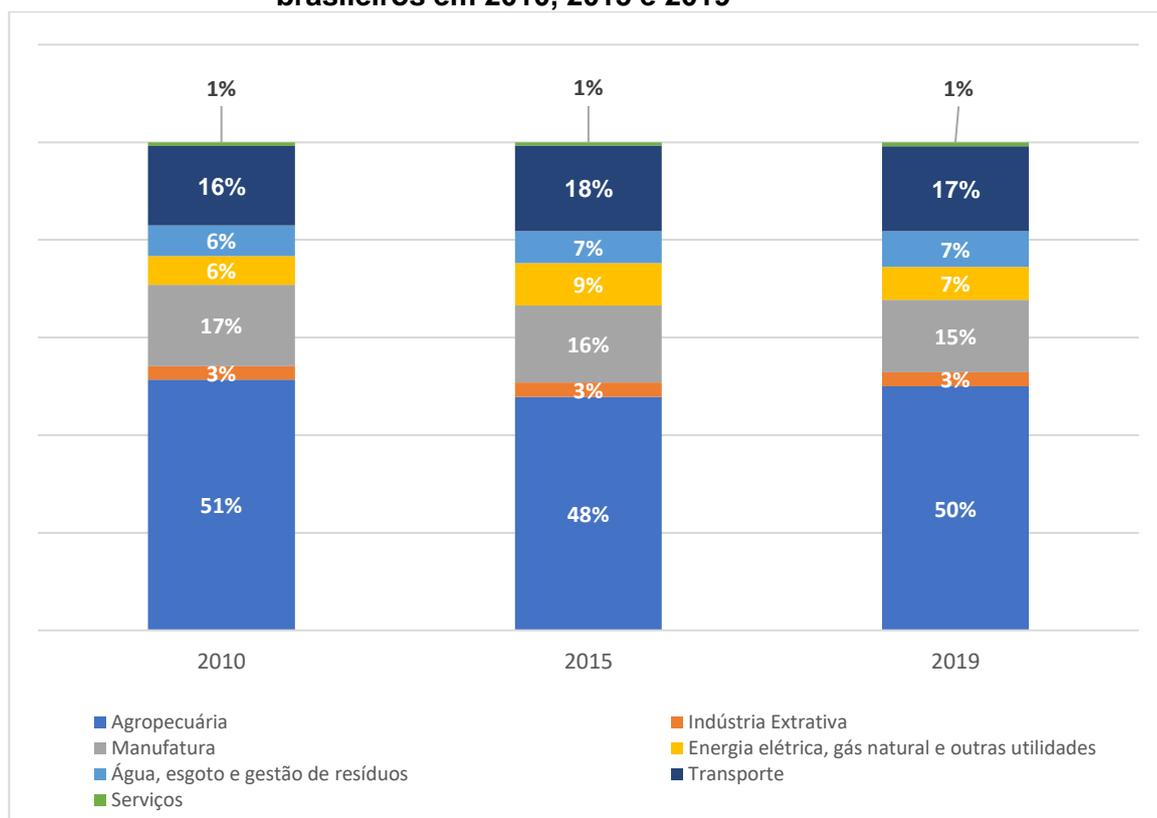
Grande setor	Subsetor	Grupos industriais
Indústria extrativa	Extração de carvão mineral e de minerais não metálicos	Commodities industriais
	Extração de petróleo e gás, inclusive as atividades de apoio	Commodities industriais
	Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração	Commodities industriais
	Extração de minerais metálicos não ferrosos, inclusive beneficiamentos	Commodities industriais
Manufatura	Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca	Commodities industriais
	Fabricação e refino de açúcar	Commodities agrícolas
	Outros produtos alimentares	Commodities agrícolas
	Fabricação de bebidas	Commodities agrícolas
	Fabricação de produtos do fumo	Indústria Tradicional
	Fabricação de produtos têxteis	Commodities agrícolas
	Confecção de artefatos do vestuário e acessórios	Indústria Tradicional
	Fabricação de calçados e de artefatos de couro	Indústria Tradicional
	Fabricação de produtos da madeira	Indústria Tradicional
	Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	Commodities agrícolas
	Impressão e reprodução de gravações	Commodities agrícolas
	Refino de petróleo e coquerias	Indústria Tradicional
	Fabricação de biocombustíveis	Commodities industriais
	Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros	Commodities industriais
	Fabricação de defensivos, desinfetantes, tintas e químicos diversos	Indústria Tradicional
	Fabricação de produtos de limpeza, cosméticos/perfumaria e higiene pessoal	Indústria Tradicional
	Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos	Indústria Tradicional
	Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	Indústria Inovativa
	Fabricação de produtos de minerais não metálicos	Commodities industriais
	Produção de ferro gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura	Commodities industriais
	Metalurgia de metais não ferrosos e a fundição de metais	Commodities industriais
	Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	Commodities industriais
	Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos	Commodities industriais
	Fabricação de máquinas e equipamentos elétricos	Indústria Inovativa
	Fabricação de máquinas e equipamentos mecânicos	Indústria Inovativa
	Fabricação de automóveis, caminhões e ônibus, exceto peças	Indústria Inovativa
	Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores	Indústria Inovativa
	Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores	Indústria Inovativa
Fabricação de móveis e de produtos de indústrias diversas	Indústria Inovativa	
Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	Indústria Tradicional	

Fonte: Elaboração própria a partir de Torracca (2018)

Costa, Costa e Young (2023) elaboraram e disponibilizaram um vetor de emissões desses 67 subsetores para os anos entre 2010 e 2020. Nesse momento

inicial, será feita uma análise das emissões dos grandes setores para os anos de 2010, 2015 e 2019. A razão da escolha desses anos é que o padrão de emissões possui uma certa rigidez, portanto não altera com tanta facilidade de um ano para outro. E o ano de 2020, com o choque exógeno da pandemia de COVID-19, torna-se um ano atípico, o que pode distorcer a análise.

Figura 3: Composição das emissões totais em Mt de CO₂ eq. de grandes setores brasileiros em 2010, 2015 e 2019



Fonte: Elaboração própria a partir de Costa, Costa e Young (2023)

Esse gráfico torna explícito que o grande setor de Agropecuária é predominante em termos de emissões da estrutura produtiva brasileira, ocupando quase 50% das emissões totais no período determinado. Em seguida, tem-se as emissões decorrentes do grande setor de Transportes e da Manufatura, que possuem certa similaridade em volume, em que respectivamente correspondem a uma média de 17% e 16%. Costa (2024) afirma que no grande setor de Transportes cerca de 90% das emissões vêm do transporte terrestre, onde existem subsídios do governo brasileiro para carros e caminhões privados movidos a combustíveis fósseis que são

fortemente emissores. O relatório do *International Energy Agency* (2021²⁷, apud Costa, 2024) destaca que o transporte rodoviário de carga está entre os setores mais desafiadores para a descarbonização.

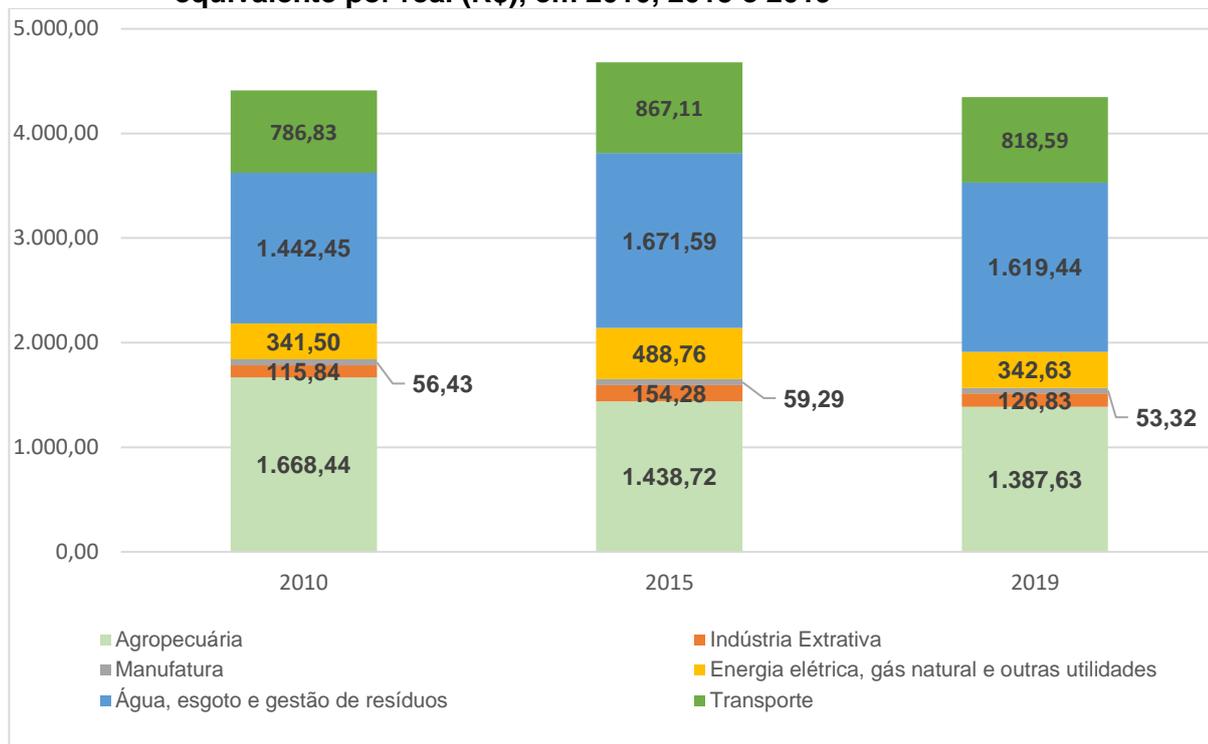
Em menor volume, têm-se o grande setor de Energia elétrica, gás natural e outras utilidades com média 7,3% das emissões, Água, esgoto e gestão de resíduos com 6,6%, Indústria Extrativa com 3% e Serviços com 1% para o período.

Ao observar a intensidade de emissões, calculada pela razão entre emissões totais e o valor bruto da produção (VBP)²⁸, surge um quadro diferente do que foi demonstrado na Figura 3. A Figura 4 demonstra essa dinâmica.

²⁷ International Energy Agency. **Net Zero by 2050**. A Roadmap for the Global Energy Sector. [S.l.] IEA, 2021. Disponível em: https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroby2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf.

²⁸ O VBP consiste na soma do consumo intermediário e o valor adicionado bruto de uma economia.

Figura 4: Intensidade de emissões por grande setor, em milhões de toneladas de CO₂ equivalente por real (R\$), em 2010, 2015 e 2019



Fonte: Elaboração própria a partir de Costa, Costa e Young (2023) e Alves-Passoni e Freitas (2020)

A diferença principal que ocorre é que o grande setor da Agropecuária é o maior no ano de 2010 e depois atinge patamares levemente menores que o grande setor de Água, esgoto e gestão de resíduos nos anos seguintes. Este último engloba atividades como a captação, o tratamento e a distribuição de água por meio de redes permanentes de tubulações e dutos (infraestruturas); a gestão de redes de esgoto, incluindo coleta e tratamento; além de ações relacionadas à gestão de resíduos de todos os tipos, como resíduos industriais, domésticos e materiais contaminados. Também abrange atividades de descontaminação de solos, águas subterrâneas e superficiais, edificações contaminadas e áreas de mineração (IBGE, 2024).

Em seguida, têm-se o grande setor de Transportes, Energia elétrica, gás natural e outras utilidades, Indústria Extrativa, Manufatura e por último Serviços. A tendência de queda na intensidade das emissões entre os anos de 2015 e 2019, segundo Costa (2024) acontece devido à crise econômica que aconteceu no Brasil.

A diferença entre intensidade de emissão e composição das emissões totais, no contexto da descarbonização da economia está no foco de cada abordagem. A composição das emissões totais busca identificar os setores que mais emitem GEE em termos absolutos, independentemente do tamanho do setor. Por outro lado, a intensidade de emissão avalia a quantidade de emissões por unidade de VBP, o que reflete a eficiência relativa ambiental de cada na transformação de insumos em produtos finais. Um setor com alta intensidade de emissão é considerado menos eficiente pois gera mais emissões para cada unidade de valor produzida. Essa distinção é fundamental para definir estratégias de descarbonização, permitindo tanto reduzir o volume total de emissões quanto promover melhorias na eficiência produtiva dos setores mais intensivos.

Essa análise por grandes setores auxilia na formação de uma visão geral dos padrões de emissões setoriais na economia brasileira. Contudo, é importante também ter uma visão específica por subsetores mais detalhada a fim de demarcar quais são os subsetores considerados críticos em termos de emissões para formulação de análises e elaboração de estratégias para descarbonização. A Tabela 1 a seguir demonstra os 10 maiores emissores totais na economia brasileira no ano de 2019. A escolha desse ano específico se dá pela rigidez de mudanças de padrões de emissão dos subsetores.

Tabela 1: Média de composição de emissões totais de Mt de CO₂ eq por subsetor, grande setor e grupo industrial para a economia brasileira em 2019

Média	Subsetor	Grande setor	Grupo industrial
42,1%	Pecuária, inclusive o apoio à pecuária	Agropecuária	-
16,0%	Transporte terrestre	Transporte	-
7,7%	Agricultura, inclusive o apoio à agricultura e a pós-colheita	Agropecuária	-
7,3%	Água, esgoto e gestão de resíduos	Água, esgoto e gestão de resíduos	-
6,8%	Energia elétrica, gás natural e outras utilidades	Energia elétrica, gás natural e outras utilidades	-
4,5%	Produção de ferro gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura	Manufatura	Commodities Industriais
3,9%	Fabricação de produtos de minerais não metálicos	Manufatura	Commodities Industriais
2,2%	Extração de petróleo e gás, inclusive as atividades de apoio	Indústria extrativa	Commodities Industriais
2,0%	Refino de petróleo e coquearias	Manufatura	Industria Tradicional
1,2%	Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros	Manufatura	Commodities Industriais

Fonte: Elaboração própria a partir de Costa, Costa e Young (2023)

Na Tabela 1, observa-se que a Pecuária, incluindo o apoio à pecuária, é o subsetor com a maior emissão de GEE na economia brasileira durante o período, com um volume quase 35 pontos percentuais superior ao da Agricultura, incluindo o apoio à agricultura e a pós-colheita, que anteriormente estavam sendo analisados em conjunto. O subsetor de Transporte terrestre aparece como o segundo que mais emitiu no período, seguido por Agricultura, inclusive o apoio à agricultura e a pós-colheita. Estes três primeiros maiores emissores totais em média para o período totalizam 65,8% das emissões do período.

Duas observações importantes podem ser feitas da Tabela 1: esses 10 subsetores corresponderam a mais de 93% das emissões totais do período, o que torna inequívoco afirmar que eles podem ser considerados setores chave para descarbonização da economia brasileira. A segunda é a presença de dois grupos industriais como importantes *drivers* de emissão: Indústria Tradicional, com média de 2,0% de emissões totais para o período, e Commodities Industriais, com média de 11,8% de emissões para o período. Isso sinaliza que existe uma heterogeneidade interna dentro dos grupos industriais em termos de emissões.

A Tabela 2 demonstra, similarmente à Figura 4, os 10 subsetores com intensidade de emissões da economia brasileira para o ano de 2019.

Tabela 2: Intensidade de emissões por subsetor, em milhões de toneladas de CO₂ equivalente por real (R\$), em 2019

Média	Subsetor	Grande setor	Grupo Industrial
42,5%	Pecuária, inclusive o apoio à pecuária	Agropecuária	-
14,8%	Água, esgoto e gestão de resíduos	Água, esgoto e gestão de resíduos	-
8,3%	Transporte terrestre	Transporte	-
5,6%	Fabricação de produtos de minerais não metálicos	Manufatura	Commodities Industriais
4,7%	Transporte aquaviário	Transporte	-
4,4%	Produção de ferro gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura	Manufatura	Commodities Industriais
3,1%	Energia elétrica, gás natural e outras utilidades	Energia elétrica, gás natural e outras utilidades	-
3,1%	Transporte aéreo	Transporte	-
2,9%	Agricultura, inclusive o apoio à agricultura e a pós-colheita	Agropecuária	-
1,5%	Extração de petróleo e gás, inclusive as atividades de apoio	Indústria extrativa	Commodities Industriais

Fonte: Elaboração própria a partir de Costa, Costa e Young (2023) e Alves-Passoni e Freitas (2020)

Comparativamente, a mudança entre a Tabela 1 e Tabela 2 é pouco significativa, em que o setor mais emissor no absoluto e por intensidade é o mesmo, Pecuária, inclusive o apoio à pecuária, e outros subsetores aparecem com elevados níveis de emissão absolutas também estão com intensidade de emissão elevados. Contudo, um ponto observável é que alguns subsetores que não são os maiores emissores absolutos aparecem com maior intensidade de emissão, o que demonstra que existe espaço para melhoria de processos para redução de emissão, que é o caso de Transporte aéreo e Transporte aquaviário.

Ao analisar as estatísticas descritivas das emissões associadas à estrutura produtiva brasileira por grandes setores, observa-se que setores como Agropecuária, Transportes e Manufatura se destacam pelas emissões absolutas. Em termos de eficiência, Agropecuária, Água, esgoto e gestão de resíduos e Transportes apresentam as maiores intensidades de emissão.

No nível dos subsetores, Pecuária, incluindo atividades de apoio, e Transporte Terrestre aparecem entre os três maiores emissores tanto em eficiência quanto em termos absolutos para o ano de 2019. Agricultura, inclusive o apoio à agricultura e a pós-colheita figura entre os três maiores emissores em níveis totais para o mesmo período. Contudo, o subsetor de Água, Esgoto e Gestão de Resíduos está entre os três maiores subsetores com maior intensidade de emissões em 2019.

3.3. Comprimento de emissões de CO₂ na estrutura produtiva brasileira

Para atender o objetivo desse trabalho em trazer dados sobre as trajetórias de emissões da estrutura produtiva brasileira decorrentes das relações intersetoriais e dos padrões implícitos e explícitos de emissão, serão apresentados os resultados dos indicadores de APL-BL e APL-FL. Estes fornecem insumos para a discussão sobre descarbonização da economia brasileira, pois apresentam elementos analíticos importantes para estratégias de redução de emissões de GEE.

Quando o subsetor apresenta um valor de APL-BL elevado, significa que o comprimento médio de emissões desse subsetor para trás é grande. É possível inferir que este subsetor difunde emissões através de suas relações intersetoriais na estrutura produtiva, tornando-se um setor crítico em termos de emissões, pois sua produção demanda bens de etapas anteriores que são intensivas em emissões.

Quando o subsetor apresentar um valor de APL-FL elevado, significa que este setor difunde sua emissão indiretamente através de suas relações comerciais com outros setores através da oferta de seus bens.

Nesse sentido, subsetores com APL-FL e/ou APL-BL elevados são importantes elementos analíticos para a discussão de trajetórias de emissões, já que ajudam a difundir emissões nas cadeias produtivas que participam.

A Tabela 3 a seguir demonstra os 10 setores com maiores APL-FL entre os anos de 2010 e 2019.

Tabela 3: Indicador de APL-FL médio entre os anos de 2010 e 2019²⁹

Média	Subsetor	Grande setor	Grupo industrial
10,0	Pecuária, inclusive o apoio à pecuária	Agropecuária	-
5,8	Água, esgoto e gestão de resíduos	Água, esgoto e gestão de resíduos	-
4,7	Fabricação de produtos de minerais não metálicos	Manufatura	Commodities industriais
4,0	Transporte terrestre	Transporte	-
3,8	Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração	Indústria extrativa	Commodities Industriais
3,7	Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos	Manufatura	Indústria Tradicional
3,7	Produção de ferro gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura	Manufatura	Commodities Industriais
3,6	Extração de carvão mineral e de minerais não metálicos	Indústria extrativa	Commodities Industriais
3,5	Energia elétrica, gás natural e outras utilidades	Energia elétrica, gás natural e outras utilidades	-
3,5	Extração de minerais metálicos não ferrosos, inclusive beneficiamentos	Indústria extrativa	Commodities Industriais

Fonte: Elaboração própria a partir de Alves-Passoni e Freitas (2020) e Costa, Costa e Young (2023)

É factível apresentar alguns fatos estilizados a partir das informações disponíveis na Tabela 3. O primeiro é que o comprimento de emissões do subsetor Pecuária, inclusive o apoio à pecuária é o maior no período analisado e isso acontece em razão da alta intensidade de emissões geradas pelo subsetor. Por ser uma atividade primária, que está no início da cadeia produtiva, já era esperado que esse indicador fosse elevado, porém ele ainda é reforçado pelo volume de emissões geradas, que já é bastante elevado.

Os subsetores de Água, esgoto e gestão de resíduos e Fabricação de produtos de minerais não metálicos aparecem em segundo e terceiro lugar, respectivamente, com maiores APL-FL para o período. A razão de Água, esgoto e gestão de resíduos possuir um comprimento de emissões tão elevado pode ser

²⁹ A tabela contendo os 67 subsectores da economia brasileira e a média de APL-FL para o mesmo período está exposta no apêndice deste trabalho

parcialmente explicado pela sua elevada intensidade de emissões, conforme explicitado pela Tabela 2. Já Fabricação de produtos de minerais não metálicos também surge como um importante *driver* de emissões indiretas pelas cadeias produtivas que participa em razão de sua intensidade de emissões, porém, também possui como características ofertar insumos para uma diversa gama de outros subsetores.

Os subsetores de Transporte terrestre, Energia elétrica, gás natural e outras utilidades e Produção de ferro gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura aparecem na Tabela 2 com elevada intensidade de emissões para o ano de 2019 e estão entre os dez maiores comprimentos de propagação de emissão para frente da economia brasileira. Já o subsetor Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos não figura entre os que possuem maiores intensidades de emissão, porém, está entre os que possuem maior comprimento de emissões para frente. Logo, através de seus comprimentos de emissão, torna-se um setor crítico no sentido de que oferta produtos intensivos em emissão nas cadeias produtivas que participa.

Outros subsetores que eram esperados possuírem elevados níveis relativos de APL-FL são os que compõem o grande setor da Indústria Extrativa, pelo mesmo motivo da Agropecuária, isto é, por estarem no início das cadeias produtivas. O subsetor Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração possui o maior comprimento de emissões para frente, seguido por Extração de carvão mineral e de minerais não metálicos e Extração de minerais metálicos não ferrosos, inclusive beneficiamentos por último. A Indústria Extrativa se diferencia dos demais grandes setores, pois em nível e intensidade de emissões, conforme demonstrado na Figura 3 e na Figura 4, ele não é tão expressivo quanto a Agropecuária, Água, esgoto e gestão de resíduos ou Manufatura, porém, se mostra um grande setor crítico no sentido de que o comprimento de suas emissões são representativas, logo, ajudam a “espalhar” as emissões pelas cadeias produtivas que participam.

Por fim, ao fazer a análise por grupo industrial, nota-se que os que aparecem entre os dez maiores comprimentos de emissão para frente da economia brasileira são commodities industriais e indústria tradicional. Isso sinaliza que dentro do grupo industrial, alguns subsetores conseguem induzir a difusão de emissões pelas cadeias produtivas mais do que outros. Isso é um aspecto importante a ser considerado na construção de uma economia de baixo carbono.

A a seguir demonstra os 10 setores com maiores APL-BL para os anos entre 2010 e 2019.

Tabela 4 a seguir demonstra os 10 setores com maiores APL-BL para os anos entre 2010 e 2019.

Tabela 4: Indicador de APL-BL entre os anos de 2010 e 2019³⁰

Média	Subsetor	Grande setor	Grupo industrial
10,0	Pecuária, inclusive o apoio à pecuária	Agropecuária	-
6,2	Água, esgoto e gestão de resíduos	Água, esgoto e gestão de resíduos	-
5,6	Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca	Manufatura	Commodities industriais
4,6	Fabricação de produtos de minerais não metálicos	Manufatura	Commodities industriais
4,3	Transporte terrestre	Transporte	-
4,1	Produção de ferro gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura	Manufatura	Commodities Industriais
3,7	Energia elétrica, gás natural e outras utilidades	Energia elétrica, gás natural e outras utilidades	-
3,1	Agricultura, inclusive o apoio à agricultura e a pós-colheita	Agropecuária	-
2,8	Transporte aquaviário	Transporte	-
2,7	Transporte aéreo	Transporte	-

Fonte: Elaboração própria a partir de Alves-Passoni e Freitas (2020) e Costa, Costa e Young (2023).

A a seguir demonstra os 10 setores com maiores APL-BL para os anos entre 2010 e 2019.

Tabela 4 demonstra que o subsetor da Pecuária, inclusive o apoio à pecuária é o que possui maior comprimento de emissões para trás da economia brasileira no período determinado. Isso provavelmente decorre do “efeito volume” mencionado anteriormente da intensidade de emissões desse subsetor. A diferença é que desta vez, o subsetor Agricultura, inclusive o apoio à agricultura e a pós-colheita aparece como também um importante *driver* de difusão das emissões através das relações intersetoriais. Isso confere uma importância relativa alta da Agropecuária na difusão das emissões nas cadeias produtivas brasileiras.

O subsetor de Água, esgoto e gestão de resíduos aparece como um importante subsetor na difusão das emissões através de seus comprimentos de emissão, assim como foi exposto na Tabela 3. Fabricação de produtos de minerais não metálicos, Transporte terrestre, Produção de ferro gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura e Energia elétrica, gás natural e outras utilidades repetem

³⁰ A tabela contendo os 67 subsetores da economia brasileira e a média de APL-BL para o mesmo período está exposta no apêndice deste trabalho

o mesmo padrão, figurando entre os dez maiores comprimentos de emissão para trás. Portanto, é possível afirmar que esses subsetores são importantes *drivers* de emissão através das suas cadeias produtivas, tanto na perspectiva de demanda quanto da oferta de bens intensivos em carbono.

Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca; Transporte aquaviário e Transporte aéreo figuram apenas como subsetores que possuem elevados níveis relativos de comprimento de emissões quando comparados ao restante da economia brasileira. Contudo, conforme observado na Tabela 3, eles não aparecem na perspectiva de comprimento de emissões para frente.

Quando observado por grupos industriais, novamente apenas Indústria Tradicional e Commodities industriais aparecem como importantes elementos nas trajetórias de emissões na perspectiva da demanda.

Para ajudar a conclusão deste capítulo, foi criada a Tabela 5 que categoriza os setores críticos em termos de comprimentos de emissão a partir de seus APL-FL e APL-BL para auxiliar nas conclusões parciais desta seção.

Tabela 5: Categorização dos comprimentos de emissões em média entre 2010 e 2019 por subsetor, grande setor e grupo industrial da economia brasileira

Categoria de comprimento de emissão	Subsetor	Grande setor	Grupo industrial
Comprimento de emissão elevado tanto para frente quanto para trás	Pecuária, inclusive o apoio à pecuária	Agropecuária	-
	Água, esgoto e gestão de resíduos	Água, esgoto e gestão de resíduos	-
	Fabricação de produtos de minerais não metálicos	Manufatura	Commodities industriais
	Transporte terrestre	Transporte	-
	Produção de ferro gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura	Manufatura	Commodities Industriais
	Energia elétrica, gás natural e outras utilidades	Energia elétrica, gás natural e outras utilidades	-
Comprimento de emissão elevado para frente	Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos	Manufatura	Indústria Tradicional
	Extração de carvão mineral e de minerais não metálicos	Indústria extrativa	Commodities industriais
	Extração de minerais metálicos não ferrosos, inclusive beneficiamentos	Indústria extrativa	Commodities industriais

	Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração	Indústria extrativa	Commodities industriais
Comprimento de emissão elevado para trás	Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca	Manufatura	Commodities industriais
	Agricultura, inclusive o apoio à agricultura e a pós-colheita	Agropecuária	-
	Transporte aquaviário	Transporte	-
	Transporte aéreo	Transporte	-

Fonte: Elaboração própria

Na Tabela 5 encontram-se três categorias de comprimentos de emissão. A primeira refere-se aos subsetores em que o comprimento de emissão elevado tanto para frente quanto para trás são relevantes para se debater trajetórias de emissão na estrutura produtiva brasileira. Isso acontece em razão dos seis subsetores que estão ali contidos difundirem a emissão nas atividades produtivas brasileiras tanto na perspectiva da oferta quando da demanda por bens intensivos em carbono. Logo, são pontos de análise fundamentais no debate de uma mudança estrutural para uma economia em baixo carbono.

Estes mesmo seis subsetores, conforme demonstrado na Tabela 2, também estão entre os dez maiores emissores por intensidade na economia brasileira. Apenas Fabricação de produtos de minerais não metálicos e Energia elétrica, gás natural e outras utilidades não estão entre os dez maiores emissores absolutos, que foi demonstrado na Tabela 1.

Entre os que estão na segunda categoria, estão os subsetores Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos; Extração de carvão mineral e de minerais não metálicos; Extração de minerais metálicos não ferrosos, inclusive beneficiamentos; e Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração. Estes possuem importantes comprimentos de emissões para frente, o que significa que entram nas cadeias produtivas que participam como ofertantes de bens intensivos em carbono.

A terceira categoria compreende os que tem comprimento de emissão elevado para trás, que são os subsetores Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca; Agricultura, inclusive o apoio à agricultura e a pós-colheita; Transporte aquaviário; Transporte aéreo. Esses ajudam a difundir emissões na estrutura produtiva brasileira no período determinada através da demanda intersetorial por bens intensivos em carbono.

Ao analisar pela perspectiva dos grandes grupos, um dos fatos estilizados mais interessantes são que a Indústria Extrativa não possui emissões tão relevantes quanto Agropecuária, Manufatura ou de Água, esgoto e outros resíduos, porém, aparece como importante *driver* de difusão das emissões através do seu comprimento de emissões para frente. Isto sinaliza que essa grande agregação fornece indiretamente emissões nas cadeias produtivas que participam, porém, quando utilizado os indicadores tradicionais para visualizar o padrão de emissões, como intensidade e emissões totais, ele pode passar despercebido.

O grande setor de Transportes possui os seus três subsetores – Transporte terrestre, aéreo e aquaviário – como importantes elementos difusores de emissão, estando alinhado com o que Costa (2024) já tinha afirmado ser um importante vetor de emissões. Esse mesmo padrão, de estar entre os maiores emissores em níveis absolutos e por intensidade de emissão, se repete para Energia elétrica, gás natural e outras utilidades. O documento da CEPAL (2023) já havia apontado para a relevância do setor energético para as emissões brasileiras, apesar dele ter uma vantagem de ser composto por mais fontes renováveis que a média mundial.

O subsetor Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca, que compõe o grande setor da Manufatura, possui a mesma dinâmica dos subsetores da Indústria Extrativa, no sentido de que não está entre os maiores emissores totais e nem por intensidade, porém, atua como difusor de emissões em suas cadeias produtivas. Uma das hipóteses levantadas para que isso ocorra vem da emissão provocadas pela fermentação entérica do gado, fortemente intensivo em GEE. Os demais subsetores da Manufatura – como, Fabricação de produtos de minerais não metálicos; Produção de ferro gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura; e Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos – já tinham aparecido como importantes elementos emissores, seja em nível absoluto ou em intensidade.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A estrutura produtiva é um elemento crucial para alcançar trajetórias de desenvolvimento econômico, sendo o setor industrial um dos principais impulsionadores dessa dinâmica. Isso se deve às suas características intrínsecas como, por exemplo, sua capacidade de gerar efeitos de encadeamento, maior produtividade e ganhos de escala, transferências tecnológicas, criação de empregos de melhor qualidade de forma direta e indireta, entre outros. Concomitantemente, em razão das suas externalidades negativas sob o ponto de vista ambiental, busca-se uma estrutura produtiva que seja menos carbono dependente e que tenha impactos ambientais, principalmente em termos de emissões de GEE, mais brandos.

Solucionar essa equação parece ser um dos desafios econômicos e ambientais que estão postos em todos os debates contemporâneos. O que parece ser uma solução a partir do arcabouço teórico estruturalista, em que a composição da estrutura produtiva importa, é para onde esses esforços podem ser direcionados. Isso vai de encontro a suposições anacrônicas que estabeleciam um *trade-off* entre produção industrial e impactos ambientais. O que se busca fazer entender é que não é necessário gerar um sacrifício da produção e sim provocar inovações que façam uma expansão da produção sem ocasionar aumento de emissões.

Nessa perspectiva, o setor industrial merece ser posto como elemento chave para superação desses gargalos e, por isso, alguns elementos são necessários de serem debatidos para melhor entendimento dessa dinâmica. Um desses pontos é entender qual papel da indústria tanto em termos de emissão em nível, sendo ela um importante *driver* das emissões totais, quanto em difusão dessas emissões em razão do seu elevado poder de encadeamento, importante demandante de produtos intensivos em carbono.

A partir do perfil brasileiro de emissões decorrentes das diferentes atividades econômicas, já era de conhecimento geral que grande parte das emissões geradas tem origem no setor agropecuário. Isso se deve predominantemente pela contabilização das emissões provenientes da digestão realizada pelos rebanhos de animais ruminantes, que são altamente intensivos em GEE, e do manejo de dejetos animais, queima de resíduos agrícolas e práticas agrícolas que afetam os solos, como uso de insumos, operações e calcário. Contudo, é necessário ressaltar que as

emissões desse grande setor são muito mais fortes em razão da pecuária do que pela agricultura.

A agropecuária esteve em primeiro lugar como *driver* de emissões na composição das emissões totais no ano de 2010, 2015 e 2019. No entanto, ao observar o indicador de intensidade de emissões, medido pela razão entre emissões totais e o VPB, um quadro levemente diferente apareceu. Apesar da permanência da relevância do setor agropecuário na intensidade de emissão, o grande setor de Água, esgoto e outros resíduos aparece como outro elemento importante nas trajetórias de emissões brasileiras, tendo a maior intensidade de emissões para os anos de 2015 e 2019.

Já as emissões decorrentes do grande setor de Transportes e da Manufatura, que possuem certa similaridade em termos de participação, possuem uma média de 17% e 16%, respectivamente, das emissões absolutas do padrão brasileiro decorrente das atividades econômicas para os anos de 2010, 2015 e 2019. Na perspectiva da intensidade de emissão, a Manufatura perde a sua relevância e o setor de Transporte permanece entre os três maiores *drivers* para o mesmo período.

Os demais grandes setores, Energia elétrica, gás natural e outras utilidades; Indústria Extrativa e Serviços são menos relevantes em termos de emissões para o mesmo período, com média 7,3%, 3% e 1% das emissões, respectivamente. Por intensidade de emissão, o quadro permanece similar para estes grandes setores, com baixa importância relativa, apesar de não ser desprezível.

Por subsetor, é possível identificar de maneira mais direcionada quais são os responsáveis pela predominância de emissões. Em composição, os três maiores emissores absolutos da economia brasileira são: Pecuária, incluindo o apoio à pecuária (42,1%); Transporte terrestre (16,0%) e; Agricultura, inclusive o apoio à agricultura e a pós-colheita (7,7%). Estes três totalizam 65,8% das emissões para o ano de 2019. Esses dados também jogam luz na diferença substancial de emissões decorrentes da pecuária para a agricultura, em que há um volume de quase 35 pontos percentuais superior do primeiro para o segundo, que antes estavam sendo analisados conjuntamente.

Outros subsetores também relevantes para a discussão de trajetórias de emissões da estrutura produtiva brasileira são: Água, esgoto e gestão de resíduos (7,3%); Energia elétrica, gás natural e outras utilidades (6,8%); Produção de ferro gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura (4,5%); Fabricação de produtos

de minerais não metálicos (3,9%); Extração de petróleo e gás, inclusive as atividades de apoio (2,2%); Refino de petróleo e coquearias (2,0%) e; Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros (1,2%). Estes somados totalizam 27% das emissões absolutas para o ano de 2019.

Por intensidade de emissão para o ano de 2019, os três subsetores com maior participação são: Pecuária, inclusive o apoio à pecuária (42,5%); Água, esgoto e gestão de resíduos (14,8%); Transporte terrestre (8,3%). Isso demonstra que a Pecuária, inclusive o apoio à pecuária aparece como principal subsetor mais intensivo em emissões para a economia brasileira no período, estando substancialmente a frente dos demais subsetores. Esse indicador também corrobora com a discussão que o padrão de especialização comercial brasileira está centrado em atividades altamente intensivas em carbono, em que esse subsetor contribui para a elevação de temperatura média da terra, portanto, reforça as mudanças climáticas.

Os demais subsetores que estão entre as dez maiores intensidades de emissão são: Fabricação de produtos de minerais não metálicos (5,6%); Transporte aquaviário (4,7%); Produção de ferro gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura (4,4%); Energia elétrica, gás natural e outras utilidades (3,1%); Transporte aéreo (3,1%); Agricultura, inclusive o apoio à agricultura e a pós-colheita (2,9%) e; Extração de petróleo e gás, inclusive as atividades de apoio (1,5%).

Dado esse quadro de quais grandes setores e subsetores são relevantes para a discussão da transformação da economia brasileira em uma economia de baixo carbono, têm-se os resultados calculados da matriz de APL ambientalmente estendida com emissões, em que esta fornece um mapeamento dos impactos ambientais em termos de emissões a partir das relações intersetoriais, identificando como as emissões estão distribuídas ao longo da estrutura produtiva.

O comprimento de propagação das emissões entre os setores, isto é, como os setores estão conectados nas cadeias produtivas e como a emissão se difunde através desses elos produtivos são importantes elementos analíticos para discussão de trajetórias de emissões de qualquer economia. Logo, setores com uma maior intensidade de propagação, isto é, com valores acima da média, são considerados críticos, pois possuem maior potencial de espalhar seus impactos ambientais para outros setores.

A partir dessa matriz de APL, foram calculados os indicadores APL-BL e APL-FL. O primeiro mede o comprimento de propagação de emissões desse setor para

trás, isto é, na perspectiva da demanda por bens intensivos em emissões. Isso significa que se indicador é elevado, o setor difunde emissões indiretamente através de suas relações intersetoriais na estrutura produtiva através da demanda, tornando-se um setor crítico em termos de emissões. Já o segundo indicador é orientado pela oferta, em que este mede o comprimento de propagação de emissões para frente. Setores com valores mais altos de APL-FL indicam que estes difundem suas emissões através de relações comerciais com outros setores através da oferta de seus bens.

O que foi encontrado nessa metodologia, e é considerado a grande contribuição deste trabalho, está apresentado a seguir.

Os subsetores da Pecuária, inclusive o apoio à pecuária; Água, esgoto e gestão de resíduos; Fabricação de produtos de minerais não metálicos; Transporte terrestre; Produção de ferro gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura e Energia elétrica, gás natural e outras utilidades possuem comprimento de propagação de emissões elevados tanto na perspectiva da oferta (para frente) quanto da demanda (para trás). Isso significa que esses subsetores ajudam a difundir as emissões através das cadeias produtivas que participam, não só apenas em termos de emissões diretas absolutas ou por intensidade como foi apontado anteriormente. Portanto, qualquer discussão com objetivo de encontrar soluções para descarbonização da economia brasileira, necessariamente precisa passar por esses subsetores.

Em termos de elevado comprimento de propagação de emissões para frente estão os subsetores Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos; Extração de carvão mineral e de minerais não metálicos; Extração de minerais metálicos não ferrosos, inclusive beneficiamentos; Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração. Esses resultados são tão interessantes quanto o anterior pois os três últimos subsetores pertencem ao grande setor da Indústria Extrativista, em que este na composição de emissões absolutas e na intensidade de emissão não aparecia como um importante *driver* de emissões quando comparadas aos demais grandes setores da economia brasileira. Portanto, através de suas relações comerciais, esses subsetores ajudam a difundir a emissão de maneira indireta através das cadeias produtivas que participam. A mesma dinâmica acontece com Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos, em que este não está entre os maiores emissores totais e nem por intensidade da economia brasileira.

Já em termos de elevado comprimento de propagação de emissões para trás estão os subsetores Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da

pesca; Agricultura, inclusive o apoio à agricultura e a pós-colheita; Transporte aquaviário e Transporte aéreo.

O que este trabalho busca realizar é fornecer insumos para a discussão sobre descarbonização das cadeias produtivas brasileiras. Esses resultados adicionam uma camada mais profunda na análise, no sentido de que utilizar apenas indicadores de emissões diretas dos subsetores ignora as relações intersetoriais de uma economia. Costa (2024) afirma que essas emissões diretas mostram apenas um lado da complexa relação de insumo-produto na estrutura produtiva de um país. É necessário considerar o papel essencial das emissões indiretas por meio dos encadeamentos com outras indústrias.

Portanto, agropecuária, bem como transportes e geração de energia, que são dois importantes elementos caracterizadores do perfil emissor do país, tendo tido uma trajetória crescente nos anos recentes, são obviamente pontos necessários nesse debate, porém, conforme foi exposto, subsetores que compõem a Indústria Extrativa e Manufatura também aparecem como importantes vetores das trajetórias de emissões decorrentes da atividade econômica brasileira.

Isso demonstra que a indústria, aqui entendida no sentido amplo, acaba por se tornar veículo tanto para o uso quanto para a geração de soluções que tratem das questões apontadas de produção com maiores níveis tecnológicos e com elevados níveis de valor mercadológico como foi apontado pela discussão a partir do arcabouço teórico estruturalista, mas também como importante ponto focal nas discussões sobre descarbonização, em que há espaço para fomento de inovações tecnológicas que busquem reduzir as emissões, tanto em volume quanto por unidade produzida. Estando em linha do que Avenyo e Tregenna (2022) encontram, os resultados desse trabalho sinalizam que indústrias intensivas em tecnologia, além de não serem intensivas em emissão, podem contribuir com soluções tecnológicas próprias da indústria para a melhoria de processos em diferentes segmentos produtivos.

REFERÊNCIAS

- AIGINGER, Karl; RODRIK, Dani. Rebirth of Industrial Policy and an Agenda for the Twenty-First Century. *Journal of Industry, Competition and Trade*, 2020.
- ALTENBURG, Tilman; RODRIK, Dani. Green Industrial Policy: Accelerating Structural Change towards Wealthy Green Economies. German Development Institute. Geneva. 2017. ,
- ALTENBURG, Tilman; VROLIJK, Kasper. 'Greening Structural Transformation: What Role for Industrial Hubs?', in ARKEBE OQUBAY; Justin Yifu LIN (eds), *The Oxford Handbook of Industrial Hubs and Economic Development*, Oxford Handbooks. 2020.
- Alves-Passoni, Patieene; Freitas, Fabio Neves Peracio. Estimação de Matrizes Insumo- Produto anuais para o Brasil no Sistema de Contas Nacionais Referência 2010. Texto para Discussão, IE-UFRJ, n. 25, 2020. Available at: https://www.ie.ufrj.br/images/IE/grupos/GIC/publica%C3%A7%C3%B5es/2020/TD_I_E_025_2020_ALVES-PASSONI_FREITAS.pdf. Accessed 13 Mar. 2024.
- ANDREONI, Antonio; FRATTINI, Federico; PRODI, Giorgio. *Getting robots in 'our own hands': Structural drivers, spatial dynamics and multi-scalar industrial policy in China. Competition & Change*, v. 0, n. 0, p. 1-23, 2024. DOI: 10.1177/10245294241261878. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/home/cch>. Acesso em: 12 dez. 2024.
- ANDREONI, Antonio; TREGENNA, Fiona. Deindustrialisation reconsidered: Structural shifts and sectoral heterogeneity. UCL Institute for Innovation and Public Purpose Working Paper Series (IIPP WP 2020-06), 2020.
- AVENYO, Elvis; TREGENNA, Fiona. Greening manufacturing: Technology intensity and carbon dioxide emissions in developing countries. *Applied Energy*, v. 324, 2022.
- BALDWIN, Richard.** Trade and industrialisation after globalisation's 2nd unbundling: how building and joining a supply chain are different and why it matters. *NBER Working Paper*, n. 17716, Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research, dez. 2011. Disponível em: <http://www.nber.org/papers/w17716>. Acesso em: 12 dez. 2024
- BANCO MUNDIAL. Manufacturing Data. Disponível em: <https://databank.worldbank.org/> Acesso: 5 set. 2024
- BARCELOS, Tiago; COSTA, Kaio. Comércio em valor adicionado e emissões de gases efeito estufa: uma análise sobre a relação de comércio bilateral Brasil e China em 2016. In: VII Encontro nacional de economia industrial e inovação, 2023. BRAGA,

João P.; HAYDE, Erin; TORRACCA, Julia. Green fiscal policy and development: reconciling climate and structural change. In: DEVEZAS, T.C.; LEITÃO, J.C.C.; YEGOROV, Y.; CHISTILIN, D. (eds) *Global Challenges of Climate Change*, Vol.2. World-systems evolution and global futures. Springer, Cham.

BILAL, Adrien; KÄNZIG, Diego R. The macroeconomic impact of climate change: global vs. local temperature. *National Bureau of Economic Research*, Working Paper 32450, maio 2024, revisado em novembro de 2024. Disponível em: <https://www.nber.org/papers/w32450>..

BRIZGA, Janis; FENG, Kuishuang; HUBACEK, Klaus. Household carbon footprints in the Baltic States: A global multi-regional input-output analysis from 1995 to 2011. *Applied Energy*, [S.l.], v. 162, p. 228–239, 2016. DOI: [10.1016/j.apenergy.2016.01.102](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.01.102).

CARVALHO, Laura Barbosa de. Diversificação ou especialização: uma análise do processo de mudança estrutural da indústria brasileira nas últimas décadas. 2010. 170 p. Dissertação (Mestrado em Economia) – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

Castilho, M., Costa, K. V., & Torracca, J. (2019). A importância do mercado latino-americano e da competição chinesa para o desempenho recente das exportações brasileiras de produtos manufaturados. *RAE Eletrônica*, 18(1). <https://doi.org/10.22456/2176-5456.68199>

CHENERY, H. B.; WATANABE, T. International Comparisons of the Structure of Production. *Econometrica*, v. 26, n. 4, p. 487–521, 1958. DOI: 10.2307/1907409.

CHERTOW, Marian R. "Uncovering" industrial symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*, v. 12, n. 1, p. 11-30, 2008. DOI: 10.1162/jiec.2007.1110. Disponível em: <https://doi.org/10.1162/jiec.2007.1110>.

CIMOLI, Mario; PORCILE, Gabriel Global growth and international cooperation: a structuralist perspective. *Cambridge Journal of Economics*, v. 35, n. 2, p. 383-400, 2010. DOI: 10.1093/cje/beq019.

CW, Climatewatch, 2023. Disponível em: climatewatchdata.org. Acesso em: 7 de jan. 2023.

COMISSÃO ECONÔMICA PARA A AMÉRICA LATINA E O CARIBE (1991). *El desarrollo sustentable: transformación productiva, equidad y medio ambiente* (LC/G.1648(CONF.80/2)/Rev.1.). Santiago: CEPAL.

COMISSÃO ECONÔMICA PARA A AMÉRICA LATINA E O CARIBE (CEPAL). Hacia la transformación del modelo de desarrollo em América Latina y el Caribe: producción, inclusión y sostenibilidad, 2022. COSTA, Kaio. Poluição por meio de poluição na estrutura produtiva brasileira: uma análise insumoproduto entre 2000 e 2019. Disponível em: <https://www.ie.ufrj.br/publicacoes-j/textospara-discussao.html>. 2023.

Costa, Kaio. Decarbonization and industrial policy: Challenges for Brazil. *Policy Briefs N. 01/2024: The key-sectors for a low-carbon transition in the Brazilian economy*. 2024

COSTA, Kaio. Poluição por meio de poluição na estrutura produtiva brasileira: uma análise insumo-produto entre 2000 e 2019. Disponível em: <https://www.ie.ufrj.br/publicacoes-j/textospara-discussao.html>. 2023.

Costa, Kaio Vital; Costa, Lucas; Young, Carlos Eduardo Frickmann. Identifying the sources of structural changes of greenhouse emissions in Brazil: An input-output analysis from 2000 to 2020. In: Pasqualino, Roberto. (Org.) Energy transition in Brazil: Innovation, opportunities and risks. EEIST Project Report. [S.I.] University of Exeter, 2023. Available at: <https://eeist.co.uk/new-report-energy-transition-in-brazil-innovation-opportunities-andrisks/>.

CRAMER, Christopher; TREGENNA, Fiona. 'Heterodox approaches to industrial policy, the shifting boundaries of the industrial, and the implications for industrial hubs', in J.Y. LIN; A. OQUBAY (eds.), *The Oxford handbook of industrial hubs and economic development*, pp. 40-63, Oxford University Press, Oxford, 2020.

DELL, Melissa; JONES, Benjamin F.; OLKEN, Benjamin A. Temperature shocks and economic growth: evidence from the last half century. *American Economic Journal: Macroeconomics*, v. 4, n. 3, p. 66–95, 2012. DOI: 10.1257/mac.4.3.66.

Dietzenbacher, E., Romero, I., & Bosma, N. S. (2005). Using average propagation lengths to identify production chains in the Andalusian economy. *Estudios de Economía Aplicada*, 23(2), 405-422.

DIETZENBACHER, Erik; ROMERO, Isidoro. *Production chains in an interregional framework: identification by means of average propagation lengths*. [S.I.], 2007.

DOSI, Giovanni; RICCIO, Federico; VIRGILLITO, Maria. Varieties of deindustrialization and patterns of diversification: why microchips are not potato chips. *Laboratory of Economics and Management (LEM)*, Sant'Anna, 2020.

FANG, Delin; DUAN, Cuncun; CHEN, Bin. Average propagation length analysis for carbon emissions in China. *Applied Energy*, v. 275, p. 115386, 2020. DOI: 10.1016/j.apenergy.2020.115386.

FANG, K.; HUANG, Z.; SUN, L. Industrial sector carbon emission patterns and their driving factors: A global supply chain perspective. *Energies*, v. 16, n. 5, p. 2535, 2024. DOI: 10.3390/en16052535.

FEIJÓ, Carmem; FEIL, Fernanda; TEIXEIRA, Fernando Amorim. Como superar os desafios da reindustrialização no contexto de transição climática. In: TEIXEIRA, Fernando (Org.); RODRIGUEZ, Graciela (Org.). *Reindustrialização Brasileira: Desafios e Oportunidades*. Rio de Janeiro: Letra e Imagem Editora, 2024. p. 107-128. ISBN 978-65-87508-09-2.

FELIPE, Jesus; MEHTA, Aashish; RHEE, Changyong. Manufacturing matters...but it's the jobs that count. *Cambridge Journal of Economics*, v. 43, p. 139–168, 2019. DOI: 10.1093/cje/bex086. Publicado online em: 19 fev. 2018.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS (FGV). Contabilização, quantificação e publicação de inventários corporativos de emissões de gases de efeito estufa. 2008. Disponível em: <https://eaesp.fgv.br/centros/centro-estudos-sustentabilidade/projetos/programa-brasileiro-ghg-protocol>. Acesso em: 15 set. 2024

GALA, Paulo; ROCHA, Igor.; MAGACHO, Guilherme. The Structuralist Revenge: Economic complexity as an important dimension to evaluate growth and development. *Brazilian Journal of Political Economy*, 38, 219–236. 2018.

GRAMKOW, Camila. Big Push Ambiental no Brasil: investimentos coordenados para um estilo de desenvolvimento sustentável. São Paulo: ECLAC & FES, 2019.

GRAMKOW, Camila. DA RESTRIÇÃO EXTERNA ÀS EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA: UMA ANÁLISE DA INSUSTENTABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL DO ATUAL MODELO ECONÔMICO BRASILEIRO. (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2011.

HAGUENAUER, Lia; BAHIA, Luiz Dias; CASTRO, Paulo Furtado de; RIBEIRO, Márcio Bruno. Evolução das cadeias produtivas brasileiras na década de 90. *Texto para Discussão*, n. 786, Brasília, abril de 2001. ISSN 1415-4765.

HAUSMANN, Ricardo; KLINGER, Benjamin. *Structural transformation and patterns of comparative advantage in the product space*. Harvard University, 2006. Disponível em: <https://www.hks.harvard.edu/publications/structural-transformation-and-patterns-comparative-advantage-product-space>.

HIDALGO, C.; HAUSMANN, R. *The Building Blocks of Economic Complexity*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v. 106, n. 26, p. 10570–10575, 2009.

HIRSCHMAN, Albert. *The Strategy of Economic Development*. New Haven: Yale University Press, 1958. **HUNTINGTON, Ellsworth**. *Civilization and climate*. New Haven: Yale University Press, 1915.

HUNTINGTON, Ellsworth. *Civilization and climate*. New Haven: Yale University Press, 1915.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023*. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>. Acesso em: 5 ago. 2023.

JAKOB, Michael; WARD, Hauke; STECKEL, Jan. Sharing responsibility for trade-related emissions based on economic benefits, *Global Environmental Change*, Volume 66. 2021.

JÄRVENPÄÄ, Anne-Mari; SALMINEN, Vesa; KANTOLA, Jussi. Industrial symbiosis, circular economy and industry 4.0 – A case study in Finland. *Management and Production Engineering Review*, v. 12, n. 4, p. 111-121, dez. 2021. DOI: 10.24425/mper.2021.139999.

KRÜGER, J. Productivity and structural change: a review of the literature. *Journal of Economic Surveys*, v. 22, n. 2, p. 330-63, 2008.

LEWIS, William Arthur. *Economic Development with Unlimited Supplies of Labour*. The Manchester School of Economic and Social, v. 22, p. 139-191, 1954.

MAGACHO, Guilherme; ESPAGNE, Etienne; GODIN, Antoine; MANTES, Achilleas; YILMAZ, Devrim. *Macroeconomic exposure of developing economies to low-carbon transition*. *World Development*, [S.l.], v. 167, p. 106231, jul. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2023.106231>.

MATHEWS, John. 'The Greening of Industrial Hubs: A Twenty-first-century Development Strategy', in ARQUEIE OQUBAY; Justin Yifu LIN (eds), *The Oxford Handbook of Industrial Hubs and Economic Development*, Oxford. 2020

MAZAT, Numa; MEDEIROS, Carlos Aguiar de. Geopolitics and development strategies in a post-Cold War era. In: *29th EAEPE Annual Conference*, outubro 2017, Budapeste. Anais [...]. Budapeste: EAEPE, 2017.

MILLER, Ronald.; BLAIR, Peter. *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*. Second Edition. Cambridge: Cambridge University Press. 2009.

MONDLIWA, M.; GOGA, S.; ROBERTS, S. *Competition, Productive Capabilities, and Structural Transformation in South Africa*. *European Journal of Development Research*, 2021.

MONTESQUIEU, Charles-Louis de Secondat. The spirit of laws. [Orig. De l'esprit des lois]. Publicado originalmente em 1748. Edição traduzida para o inglês: 1750. Disponível em: <https://www.gutenberg.org/ebooks/27577>. Acesso em: 12 dez. 2024.

MONTESQUIEU, Charles-Louis de Secondat. *The spirit of laws*. [Orig. *De l'esprit des lois*]. Publicado originalmente em 1748. Edição traduzida para o inglês: 1750.

Disponível em: <https://www.gutenberg.org/ebooks/27577>. Acesso em: 12 dez. 2024.

MONTOYA, M. A. et al. Renewable and Non-renewable in the energy-emissions-climate nexus: Brazilian contributions to climate change via international trade. **Journal of Cleaner Production**, v. 312, p. 127700, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127700>

Morceiro, P. C., & Guilhoto, J. J. M. (2020). Adensamento produtivo e esgarçamento do tecido industrial brasileiro. *Economia e Sociedade*, 29(3), 835-860. <https://doi.org/10.1590/1982-3533.2020v29n3art07>

NASSIF PIRES, Luiza; TEIXEIRA, Lucas; ROCHA, Frederico. Houve redução do impacto da indústria na economia brasileira no período 1996-2009? Uma análise das matrizes insumo-produto. *Economia e Sociedade*, v. 24, n. 2, p. 355-378, ago. 2015. DOI: 10.1590/1982-3533.2015v24n2art5

Nassif-PIRES, Luiza. Mudança estrutural na economia brasileira de 1996 a 2009: uma análise a partir das matrizes insumo-produto. 2013. 111 f. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Economia, Programa de Pós-Graduação em Economia, Rio de Janeiro, 2013.

NAYYAR, Deepak. Industrialization, hubs, and catch-up: the world economy in historical perspective. In: OQUBAY, Arkebe; LIN, Justin Yifu (Eds.). *The Oxford handbook of industrial hubs and economic development*. Oxford: Oxford University Press, 2020. p. 147-164.

NAYYAR, Deepak. Industrialization, hubs, and catch-up: the world economy in historical perspective. In: OQUBAY, Arkebe; LIN, Justin Yifu (Eds.).

OLIVEIRA, Manuela; RIBEIRO, Luiz; CARVALHO, Terciane. Decomposição estrutural das emissões de gases de efeito estufa dos países do BRIC. *Geosul*, v. 35, n. 75, p. 506-532, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5007/1982-5153.2020v35n75p506>.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. Nova York: ONU, 2015.

ORGANIZAÇÕES DAS NAÇÕES UNIDAS. Low Carbon Development. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/index.php?menu=1448>. Acesso: 22 Nov. 2024.

OUR WORLD IN DATA. Annual CO₂ emissions. Acesso em: 05 ago. 2023 [https://ourworldindata.org/grapher/annual-CO₂-emissions-per-country](https://ourworldindata.org/grapher/annual-CO2-emissions-per-country).

PALMA, Jose Gabriel. De-industrialisation, 'premature' de-industrialisation and the Dutch disease. *Revista NECAT*, ano 3(5), Jan-Jun. 2014.

Pereira, A. J., Silva, G. J., & Larruscaim, I. M. (2023). Complexidade econômica e a estrutura produtiva brasileira: O padrão de exportação e o desenvolvimento econômico nacional no século XXI. *Revista de Economia Contemporânea*, 27, e232717. <https://doi.org/10.1590/198055272717>.

PEROBELLI, Fernando Salgueiro; FARIA, Weslem Rodrigues; VALE, Vinicius de Almeida. The increase in Brazilian household income and its impact on CO₂ emissions: Evidence for 2003 and 2009 from input–output tables. *Energy Economics*, v. 52, p. 228-239, 2015. DOI: 10.1016/j.eneco.2015.10.007.

RASMUSSEN, P. N. *Studies in Inter-Sectoral Relations*. Einar Harcks, København, 1956.

RODRIG, Dani. Premature deindustrialization. *Journal of Economic Growth*, v. 21, p. 1–33, 2016. DOI: 10.1007/s10887-015-9122-3. Publicado online em: 27 nov. 2015.

ROMERO, Isidoro; DIETZENBACHER, Erik; HEWINGS, Geoffrey J. D. *Fragmentation and Complexity: Analyzing Structural Change in the Chicago Regional Economy*. *Revista de Economía Mundial*, n. 23, p. 263-282, 2009.

ROMERO, J. P.; GRAMKOW, C. Economic complexity and greenhouse gas emissions. *World Development*, v. 139, p. 105317, 1 mar. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105317>. Acesso em: 29 set. 2023.

SCHUMPETER, Joseph. (1985 [1912]). *A teoria do desenvolvimento econômico*. São Paulo: Abril Cultural, coleção Os Economistas.

SCHWARZER, Johannes. *Industrial policy for a green economy*. The International Institute for Sustainable Development. Ottawa, Ontario. 2013.

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). *Revista Brasileira de Economia*, v. 66, n. 2, p. 169-188, 2012. ISSN 0101-4161. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/0101-4161.20120011>

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE GEE (SEEG) – Observatório do Clima. **Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas do Brasil (1970-2020)**, 2021.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE GEE (SEEG) – Observatório do Clima. Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas do Brasil (1970-2020, 2023).

Suzigan, W. (2000). *A industrialização brasileira e suas contradições: Uma análise crítica do modelo de desenvolvimento*. São Paulo: Editora Hucitec.

SYRQUIN, M. (1988) "Patterns of Structural Change". In: Chenery, H. E Srinivasan, T. Handbook of Development Economics. Elsevier.

TAUSCH, Luca; MAGACHO, Guilherme. Challenges in the transition to a low-carbon economy for developing countries: estimating capital-use matrices and imported needs. *Research Papers*, n. 318, 48 p. ISSN 2492-2846.

Tavares, M. (2000). *A economia política do desenvolvimentismo*. 2. ed. Rio de Janeiro.

THIRLWALL, Anthony P. **The Nature of Economic Growth: An Alternative Framework for Understanding the Performance of Nations**. Cheltenham, UK; Northampton, MA, USA: Edward Elgar, 2015.

Torracca, Julia Ferreira. Coevolução das estruturas de produção e comércio exterior da indústria brasileira: convergência ou desarticulação? / Julia Ferreira Torracca. – 2017. 140 p. ; 31 cm. Orientador: David Kupfer. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Economia, Programa de Pós-Graduação em Economia da Indústria e da Tecnologia, 2017. Bibliografia: f. 112 – 117.

UNTACD. FROM DE-RISKING TO DIVERSIFICATION: MAKING STRUCTURAL CHANGE WORK FOR CLIMATE ADAPTATION in: Trade and Development Report 2021. 2021.

WACHSMANN, Ulrike. *Mudanças no Consumo de Energia e nas Emissões Associadas de CO₂ no Brasil entre 1970 e 1996: Uma Análise de Decomposição Estrutural*. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2005.

Wiedmann, T. (2009). A review of recent multi-region input–output models used for consumption-based emission and resource accounting. *Ecological Economics*, 69(2), 211-222. doi:10.1016/j.ecolecon.2009.08.026.

YU, Fei; HAN, Feng; CUI, Zhaojie. Evolution of industrial symbiosis in an eco-industrial park in China. *Journal of Cleaner Production*, v. 87, p. 339-347, 2015. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.10.058.

ZHANG, Yue; WEI, Jing; HUANG, Kai; YANG, Shunshun; LI, Yan; HU, Tingting. Driving forces analysis of energy-related carbon dioxide (CO₂) emissions in Beijing: an

input–output structural decomposition analysis. *Journal of Cleaner Production*, v. 163, p. 58-68, 1 out. 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.12.106.

**APÊNDICE A: INDICADOR DE APL-FL MÉDIO ENTRE OS ANOS DE 2010
E 2019 (67 SUBSETORES)**

Média	Subsetor	Grande setor	Grupo industrial
3,1	Agricultura, inclusive o apoio à agricultura e a pós-colheita	Agropecuária	-
10,0	Pecuária, inclusive o apoio à pecuária		
1,7	Produção florestal pesca e aquicultura		
3,6	Extração de carvão mineral e de minerais não metálicos	Indústria extrativa	Commodities industriais
3,2	Extração de petróleo e gás, inclusive as atividades de apoio		Commodities industriais
3,8	Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração		Commodities industriais
3,5	Extração de minerais metálicos não ferrosos, inclusive beneficiamentos		Commodities industriais
1,9	Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca	Manufatura	Commodities industriais
1,8	Fabricação e refino de açúcar		Commodities agrícolas
1,6	Outros produtos alimentares		Commodities agrícolas
0,2	Fabricação de bebidas		Commodities agrícolas
0,1	Fabricação de produtos do fumo		Indústria Tradicional
0,6	Fabricação de produtos têxteis		Commodities agrícolas
0,8	Confecção de artefatos do vestuário e acessórios		Indústria Tradicional
0,7	Fabricação de calçados e de artefatos de couro		Indústria Tradicional
0,9	Fabricação de produtos da madeira		Indústria Tradicional
0,6	Fabricação de celulose, papel e produtos de papel		Commodities agrícolas
0,0	Impressão e reprodução de gravações		Commodities agrícolas
2,7	Refino de petróleo e coquerias		Indústria Tradicional
2,4	Fabricação de biocombustíveis		Commodities industriais
2,1	Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros		Commodities industriais
1,5	Fabricação de defensivos, desinfestantes, tintas e químicos diversos		Indústria Tradicional
0,9	Fabricação de produtos de limpeza, cosméticos/perfumaria e higiene pessoal		Indústria Tradicional
3,7	Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos		Indústria Tradicional
0,7	Fabricação de produtos de borracha e de material plástico		Indústria Inovativa

4,7	Fabricação de produtos de minerais não metálicos		Commodities industriais
3,7	Produção de ferro gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura		Commodities Industriais
1,9	Metalurgia de metais não ferrosos e a fundição de metais		Commodities industriais
0,5	Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos		Commodities industriais
0,3	Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos		Commodities industriais
1,4	Fabricação de máquinas e equipamentos elétricos		Indústria Inovativa
0,8	Fabricação de máquinas e equipamentos mecânicos		Indústria Inovativa
1,3	Fabricação de automóveis, caminhões e ônibus, exceto peças		Indústria Inovativa
2,0	Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores		Indústria Inovativa
2,2	Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores		Indústria Inovativa
0,2	Fabricação de móveis e de produtos de indústrias diversas		Indústria Inovativa
0,7	Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos		Indústria Tradicional
3,5	Energia elétrica, gás natural e outras utilidades	Energia elétrica, gás natural e outras utilidades	-
5,8	Água, esgoto e gestão de resíduos	Água, esgoto e gestão de resíduos	-
1,8	Construção		
0,3	Comércio por atacado e varejo	Serviços	-
4,0	Transporte terrestre		
3,2	Transporte aquaviário	Transporte	-
2,7	Transporte aéreo		
0,7	Armazenamento, atividades auxiliares dos transportes e correio		
0,4	Alojamento		
0,4	Alimentação		
0,2	Edição e edição integrada à impressão		
0,1	Atividades de televisão, rádio, cinema e gravação/edição de som e imagem		
0,0	Telecomunicações		
0,4	Desenvolvimento de sistemas e outros serviços de informação		
0,4	Intermediação financeira, seguros e previdência complementar	Serviços	-
0,2	Atividades imobiliárias		
0,3	Atividades jurídicas, contábeis, consultoria e sedes de empresas		
0,5	Serviços de arquitetura, engenharia, testes/análises técnicas e P & D		
0,1	Outras atividades profissionais, científicas e técnicas		
0,8	Aluguéis não imobiliários e gestão de ativos de propriedade intelectual		
0,2	Outras atividades administrativas e serviços complementares		

0,4	Atividades de vigilância, segurança e investigação		
0,2	Administração pública, defesa e seguridade social		
0,3	Educação pública		
0,9	Educação privada		
0,4	Saúde pública		
0,2	Saúde privada		
0,0	Atividades artísticas, criativas e de espetáculos		
0,2	Organizações associativas e outros serviços pessoais		
0,0	Serviços domésticos		

**APÊNDICE B: INDICADOR DE APL-BL MÉDIO ENTRE OS ANOS DE 2010
E 2019 (67 SUBSETORES)**

Média	Subsetor	Grande setor	Grupo industrial
3,1	Agricultura, inclusive o apoio à agricultura e a pós-colheita	Agropecuária	-
10,0	Pecuária, inclusive o apoio à pecuária		
1,8	Produção florestal pesca e aquicultura		
2,4	Extração de carvão mineral e de minerais não metálicos	Indústria extrativa	Commodities industriais
1,6	Extração de petróleo e gás, inclusive as atividades de apoio		Commodities industriais
0,8	Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração		Commodities industriais
1,9	Extração de minerais metálicos não ferrosos, inclusive beneficiamentos		Commodities industriais
5,6	Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca	Manufatura	Commodities industriais
2,0	Fabricação e refino de açúcar		Commodities agrícolas
1,5	Outros produtos alimentares		Commodities agrícolas
0,8	Fabricação de bebidas		Commodities agrícolas
2,1	Fabricação de produtos do fumo		Indústria Tradicional
1,3	Fabricação de produtos têxteis		Commodities agrícolas
0,7	Confecção de artefatos do vestuário e acessórios		Indústria Tradicional
1,7	Fabricação de calçados e de artefatos de couro		Indústria Tradicional
1,3	Fabricação de produtos da madeira		Indústria Tradicional
1,2	Fabricação de celulose, papel e produtos de papel		Commodities agrícolas
0,1	Impressão e reprodução de gravações		Commodities agrícolas
1,9	Refino de petróleo e coquerias		Indústria Tradicional
2,1	Fabricação de biocombustíveis		Commodities industriais
1,7	Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros		Commodities industriais
0,9	Fabricação de defensivos, desinfetantes, tintas e químicos diversos		Indústria Tradicional
1,2	Fabricação de produtos de limpeza, cosméticos/perfumaria e higiene pessoal		Indústria Tradicional
0,3	Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos		Indústria Tradicional
0,7	Fabricação de produtos de borracha e de material plástico		Indústria Inovativa
4,6	Fabricação de produtos de minerais não metálicos		Commodities industriais

4,1	Produção de ferro gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura	Commodities Industriais
2,0	Metalurgia de metais não ferrosos e a fundição de metais	Commodities industriais
1,5	Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	Commodities industriais
0,0	Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos	Commodities industriais
0,5	Fabricação de máquinas e equipamentos elétricos	Indústria Inovativa
0,6	Fabricação de máquinas e equipamentos mecânicos	Indústria Inovativa
0,4	Fabricação de automóveis, caminhões e ônibus, exceto peças	Indústria Inovativa
0,8	Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores	Indústria Inovativa
0,3	Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores	Indústria Inovativa
0,4	Fabricação de móveis e de produtos de indústrias diversas	Indústria Inovativa
0,0	Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	Indústria Tradicional
3,7	Energia elétrica, gás natural e outras utilidades	-
6,2	Água, esgoto e gestão de resíduos	-
0,0	Construção	
0,1	Comércio por atacado e varejo	-
4,3	Transporte terrestre	
2,8	Transporte aquaviário	-
2,7	Transporte aéreo	
0,0	Armazenamento, atividades auxiliares dos transportes e correio	
2,0	Alojamento	
2,0	Alimentação	
0,0	Edição e edição integrada à impressão	
0,0	Atividades de televisão, rádio, cinema e gravação/edição de som e imagem	
0,0	Telecomunicações	
0,0	Desenvolvimento de sistemas e outros serviços de informação	
0,0	Intermediação financeira, seguros e previdência complementar	
0,0	Atividades imobiliárias	
0,0	Atividades jurídicas, contábeis, consultoria e sedes de empresas	
0,0	Serviços de arquitetura, engenharia, testes/análises técnicas e P & D	
0,0	Outras atividades profissionais, científicas e técnicas	
0,0	Aluguéis não imobiliários e gestão de ativos de propriedade intelectual	
0,0	Outras atividades administrativas e serviços complementares	
0,0	Atividades de vigilância, segurança e investigação	
0,4	Administração pública, defesa e seguridade social	
	Energia elétrica, gás natural e outras utilidades	-
	Água, esgoto e gestão de resíduos	-
	Serviços	-
	Transporte	-
	Serviços	-

0,6	Educação pública		
0,6	Educação privada		
0,3	Saúde pública		
0,3	Saúde privada		
0,0	Atividades artísticas, criativas e de espetáculos		
0,0	Organizações associativas e outros serviços pessoais		
0,0	Serviços domésticos		