

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

Igor Moreira Rodrigues

A hipótese do paraíso de poluição no caso brasileiro

Juiz de Fora

2024

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Moreira Rodrigues, Igor .

A hipótese do paraíso de poluição no caso brasileiro / Igor

Moreira Rodrigues. -- 2024.

55 p. : il.

Orientador: Weslem Rodrigues Faria

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Economia. Programa de Pós-Graduação em Economia, 2024.

1. Paraíso de poluição. 2. Insumo-produto. 3. Brasil. I. Rodrigues Faria, Weslem , orient. II. Título.

A hipótese do paraíso de poluição no caso brasileiro

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Economia da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Economia.

Orientador: Prof. Weslem Rodrigues Faria

Juiz de Fora

2024

Igor Moreira Rodrigues

A hipótese do paraíso de poluição no caso brasileiro

Dissertação
apresentada ao
Programa de Pós-
graduação em
Economia da
Universidade Federal
de Juiz de Fora como
requisito parcial à
obtenção do título
de Mestre em
Economia Aplicada.
Área de
concentração:
Economia

Aprovada em 12 de setembro de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Weslem Rodrigues Faria - Orientador

Universidade Federal de Juiz de Fora

Dr. Admir Antonio Betarelli Junior

Universidade Federal de Juiz de Fora

Dr. Vinicius de Almeida Vale

Universidade Federal do Paraná

Juiz de Fora, 10/09/2024.



Documento assinado eletronicamente por **Weslem Rodrigues Faria, Professor(a)**, em 13/09/2024, às 10:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Admir Antonio Betarelli Junior, Professor(a)**, em 13/09/2024, às 11:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Vinicius de Almeida Vale, Usuário Externo**, em 13/09/2024, às 19:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **1977054** e o código CRC **B6034159**.

Agradecimentos

Somos resultado de tudo que vivenciamos. Das pessoas que conhecemos, das experiências que passamos, um quebra cabeça onde as peças se renovam a cada aprendizado da vida. Com isso, agradeço a tudo que incidiu direta e indiretamente para a realização do presente trabalho, bem como para a conclusão dessa jornada. Agradeço aos funcionários de manutenção da UFJF, sem os quais não haveria sequer um ambiente propício para que possamos estudar, aos funcionários do Restaurante Universitário pelas refeições. Agradeço a CAPES, a UFJF e ao PPGE pelo fornecimento das bolsas. Agradeço ao Antônio e à Nicole da secretaria pela sanção de eventuais dúvidas burocráticas.

Agradeço ao corpo docente do PPGE, sobretudo aos professores Admir Betarelli, Fernando Perobelli, Flaviane Santiago, Laura Schiavon, Rafael de Souza, Suzana Bastos e ao meu orientador Weslem Rodrigues, por toda dedicação, paciência e lições como economistas e como pessoas.

Agradeço aos amigos que fiz na UFJF, em especial ao Arthur Bazolli, Felipe Guimarães, Juliano da Silva, Leonan Ferreira, Mariana Duarte, Matheus Nascimento, Pedro H. Leite, Pedro H. Moura, pelas descontrações, ajudas e ensinamentos dentro e fora da faculdade. Agradeço também aos amigos que fiz em Juiz de Fora, em especial a Gabriela Ozório, a maior referência que tive na cidade.

Por fim mas não menos importante agradeço a minha família e amigos do estado do Rio de Janeiro, que torciam por mim a todo momento, que me proporcionaram o conforto de ser sempre bem acolhido ao retornar. Seria um crime deixar alguém de fora, cito aqui Marinete Cordeiro Moreira e Jorge Normando Rodrigues, para representar minha família além de Marcos Benony Torres para representar meus amigos de longa data. Mas deixando claro que esses simbolizam algumas dezenas de familiares e amigos.

RESUMO

Esse trabalho se propôs, através de uma análise de insumo-produto multirregional decompondo as transações em três tipos (finais, intermediárias e relacionadas à cadeia global), a compreender o cenário brasileiro acerca da hipótese do paraíso de poluição. Utilizou-se a base de dados da Exiobase3, que fornece dados, coeficientes financeiros e ambientais, para os anos de 2002 e 2022, com as emissões de CO₂ dado a queima de combustíveis fósseis como tipo de emissão. Constatou-se que há indícios de que a hipótese se sustenta para o caso brasileiro em ambos os anos sob a ótica do balanço de emissões e apenas para 2022 sob a ótica do balanço de emissões evitadas. Além disso, evidenciou-se a fragmentação produtiva nas transações internacionais de emissões.

Palavras-chave: Paraíso de poluição. Insumo-produto. Brasil.

ABSTRACT

This study aims to comprehend the Brazilian case for the pollution haven hypothesis by an multiregional input-output analysis decomposing the international transactions in three kinds (finals, intermediates and global relatives). The Exiobase3 database, which gets financial and environmental data and indicators for 163 sectors in 44 economies, were used for the chosen years of 2002 and 2022, with the CO₂ emissions due fossil fuels chosen as main indicator. The pollution haven hypothesis holds for the Brazilian case by the balance of emissions optics for both years, while only for 2022 by the balance of avoided emissions optics. The study also shows the global production fragmentation in the international trades of emissions. .

Keywords: Pollution Haven. Input-output. Brazil.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Fontes de Energia no Brasil | 29 |
| Figura 2 - Proporção das emissões de CO2 no Brasil. | 40 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Trabalhos empíricos | 24 |
| Tabela 2 – Emissões globais de CO ₂ em 2002 (em milhões de toneladas.) | 37 |
| Tabela 3 – Emissões globais de CO ₂ em 2022 (em milhões de toneladas). | 39 |
| Tabela 4 – Resultados da LMDI das emissões de CO ₂ no Brasil devido às exportações para 2002-2022. | 41 |
| Tabela 5 – Emissões de CO ₂ em 2002 devido ao Brasil (em milhões de toneladas). | 42 |
| Tabela 6 – Emissões de CO ₂ em 2022 devido ao Brasil (em milhões de toneladas). | 44 |
| Tabela 7 – Balanço de emissões evitadas. | 46 |
| Tabela 8 – Emissões de setoriais de CO ₂ dado às demandas externas (em mT) | 48 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-----------------|--|
| 2SLS | <i>Two-Stage Least Squares</i> |
| AMNE | <i>Activities of Multinational Enterprise</i> |
| ARDL | <i>Autorregressive Distributed Lag</i> |
| BAE | Balanco de emissões evitadas |
| BDFC | Balanco doméstico de fatores contidos |
| BNDS | Banco Nacional do Desenvolvimento |
| BRICS | Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul |
| BRIICS | Brasil, Rússia, Índia, Indonésia, China e África do Sul |
| CO ₂ | Dióxido de carbono |
| DCCE | <i>Dynamic common-correlated effect</i> |
| EPE | Empresa de Pesquisa Energética |
| EUA | Estados Unidos da América |
| FARDL | ARDL com a função de Fourier |
| FDI | <i>Foreign Direct Investment</i> |
| G20 | Argentina, Austrália, Brasil, Canadá, China, França, Alemanha, Índia, Indonésia, Itália, Japão, México, Coreia do Sul, Rússia, Arábia Saudita, África do Sul, Turquia, Reino Unido, Estados Unidos, União Europeia |
| GMM | <i>Generalized method of moments</i> |
| GTAP | <i>Global Trade Analysis Project</i> |
| IEA | Agência Internacional de Energia |
| MERCOSUL | Mercado comum do Sul |
| MENA | <i>Middle East and North Africa</i> |
| MINT | México, Indonésia, Nigéria e Turquia |
| MQO | Mínimos Quadrados Ordinários |
| N11 | Bangladesh, Egito, Indonésia, Irã, México, Nigéria, Paquistão, Filipinas, Turquia, Coreia do Sul e Vietnã |
| NAFTA | Tratado Norte-Americano de Livre-Comércio |
| NO _x | Óxido nitroso |
| OCDE | Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico |
| PHE | <i>Pollution haven effect</i> |
| PHH | <i>Pollution haven hypothesis</i> |
| SO ₂ | Dióxido de enxofre |
| TiVA | <i>Trade in Value Added</i> |
| UE | União Européia |
| VECM | <i>Panel vector error correction model</i> |
| WIOD | <i>World input-output database</i> |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 11 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 15 |
| 2.1 | A HIPÓTESE DO PARAÍSO DE POLUIÇÃO | 15 |
| 2.2 | TRABALHOS EMPÍRICOS | 17 |
| 3 | CONTEXTO BRASILEIRO | 28 |
| 4 | DADOS E METODOLOGIA | 31 |
| 5 | RESULTADOS | 36 |
| 6 | Conclusão | 50 |
| 7 | REFERÊNCIAS | 52 |

1 INTRODUÇÃO

Desde o início da década de noventa, com a publicação do primeiro relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 1990), as consequências ambientais promovidas pelas ações humanas têm sido tema de recorrentes discussões na sociedade (Stoddard *et al*, 2021). O relatório informa uma série de alterações climáticas tanto já estabelecidas quanto previstas (para 2030 e 2050), associadas às ações antropocêntricas. Além de apresentar, como alternativa, uma série de medidas econômicas possíveis a serem adotadas pelos governos, influenciando encontros internacionais como a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, em 1992, o Protocolo de Kyoto em 1997 e o Acordo de Paris em 2015, resultando em diversas metas, políticas ambientais e fomentando o debate acerca da relação entre economia e meio ambiente.

Entretanto, desde 1990 até 2020, houve mais emissões de CO₂ provenientes da queima de combustíveis fósseis que em toda história (Stoddard *et al*, 2021). O acordo de Paris, por exemplo, firmou um compromisso entre as nações visando reduzir as emissões de carbono em 45 % até 2030 e atingir a neutralidade de carbono até 2050. Contudo, apenas 55 % dos principais países emissores de gases do efeito estufa anunciaram metas específicas para tais reduções (Yang *et al*, 2023). Enquanto o Protocolo de Kyoto não teve seu modelo implementado por boa parte dos países emergentes e, tão pouco, pelos EUA¹, principal potência econômica ao lado da China (Metz, 2013).

Assim sendo, a questão econômico-ambiental entre a cadeia produtiva dos países e suas emissões de poluentes tem se apresentado um tema cada vez mais recorrente no século XXI (Padhan and Bhat, 2023; Bashir, 2022; Anwar *et al*, 2022). Os principais países emissores² são responsáveis por mais de 68 % das emissões totais de gases do efeito estufa (Yang *et al*, 2023).

Um relatório do Banco Mundial de 1992 (*The World Bank Development Report*, 1992) e os trabalhos de Grossman e Krueger (1991, 1994) apresentaram uma curva em formato de "U" invertido na relação entre a degradação ambiental e o desenvolvimento econômico dos países, denominada de curva ambiental de Kuznets, se referindo a Kuznets (1955), que comprovou um comportamento similar na relação entre desenvolvimento econômico e desigualdade social, de tal forma que, tanto no caso das emissões de poluentes quanto no caso da desigualdade social, há um aumento nos primeiros estágios de desenvolvimento dos países, até determinado ponto de inflexão tal que, em diante, maior desenvolvimento econômico resulta em uma queda de tais fatores.

Desde então, os possíveis motivos para tal comportamento passaram a ser estudados, de tal forma que os papéis de poluidores desempenhados por cada país dentro da economia

¹ Estados Unidos da América

² China, Estados Unidos, União Europeia, Índia, Rússia, Japão, Brasil, Indonésia, Irã e Canadá.

global foram sendo cada vez mais compreendidos (Padhan and Bhat, 2023; Zhang *et al*, 2017). Dentre os possíveis motivos para tal comportamento, surgiu a hipótese de que em um primeiro estágio de desenvolvimento o país atrai indústrias mais poluentes devido aos padrões ambientais mais fracos e, a medida em que se desenvolve, possibilita tanto o acesso à tecnologias mais limpas quanto à importação desses bens de produção mais sujos, que por sua vez passaram a ser produzidos em outros países mais permissíveis (Grossman and Krueger, 1994). De tal forma, explica-se, em parte, o porquê dos países em desenvolvimento, desde a década de noventa, serem os maiores emissores de CO₂ (cumulativamente), embora quando consideradas as emissões *per capita* a parcela de emissões de CO₂ nos países desenvolvidos seja mais de quatro vezes maior que a dos países em desenvolvimento (Stoddard *et al*, 2021).

Essa ideia está diretamente associada à hipótese de paraíso de poluição (*Pollution Haven Hypothesis*, PHH): devido ao seu posicionamento na cadeia produtiva global, um país cujos padrões ambientais são mais fracos acaba fomentando indústrias intensivas em poluição, tanto através de investimentos diretos externos nas mesmas, quanto através da demanda externa, se tornando assim um polo de produção intensivo em poluentes (Duan *et al*, 2021; Zhang *et al*, 2017), assim sendo um paraíso de poluição.

A hipótese trata do papel desempenhado pela região dentro da cadeia produtiva e o degaste ambiental da mesma devido a tal posicionamento. Mas também há o chamado Efeito do Paraíso de Poluição, que está mais associado ao deslocamento de investimento direto externo. Apesar de serem conceitos distintos, o efeito pode ser tamanho que implique na validação da hipótese, porém a hipótese pode ser validada mesmo que não haja presença do efeito, devido apenas à cadeia produtiva global (Duan *et al*, 2021). Apesar de não ser contemplado no presente trabalho, sua consideração é valiosa para a compreensão.

Os esforços para se repensar a produção mediante às mudanças climáticas têm sido variados, *vide* as reuniões internacionais (Protocolo de Kyoto, Acordo de Paris e as 28 COPs até o momento) e as diversas metas e medidas adotadas por cada país (Stoddard *et al*, 2021). Nesse sentido, avaliar a cadeia produtiva global sob essa perspectiva têm sido cada vez mais recorrente nos trabalhos acadêmicos dentro da área econômica (Padhan and Bhat, 2023; Bashir, 2022; Anwar *et al*, 2022). Entretanto ainda não há, até o presente momento, um trabalho focado no caso brasileiro e seu papel como poluidor dentro da cadeia global de valores, abordando a hipótese do paraíso de poluição.

O Brasil se encontra, desde o início do século XIX, entre os sete principais emissores de CO₂ devido às queimas de combustíveis fósseis, e em 2021 estava na quinta posição, com 488,88 milhões de toneladas emitidas³(Global Carbon Budget, 2022). Ou seja, mesmo sem considerar as emissões devido ao uso da terra, das quais o Brasil é o maior emissor

³ Atrás de China (11,47 biT), Estados Unidos (5,01 biT), Índia (2,7 biT) e Alemanha (674,75 miT).

tanto em termos absolutos (992,98 miT) quanto em termos per capita (4,63 T) (Global Carbon Budget, 2022; Our World in Data, 2023), e se tratando de um país onde 77% e 39% da energia elétrica e da primária, respectivamente, são renováveis (OCDE, 2015), o que é considerado uma matriz energética limpa comparado aos demais países, o país segue sendo um dos principais emissores de gases do efeito estufa. Sendo assim, analisar a hipótese do paraíso de poluição a fim de identificar o que move essas emissões, se são a demanda doméstica ou a externa, bem como de que forma isso acontece (através da exportação de bens finais, intermediários, etc) pode ser um ponto-chave para a elaboração de novas soluções nessa questão econômico-ambiental do país.

Ao tratar dos esforços institucionais perante a conservação ambiental no país, a Constituição de 1988, que apresentou o Capítulo do Meio Ambiente, apresentou um dos primeiros passos para a consolidação de medidas em prol do meio ambiente. Criaram-se o Fundo Nacional do Meio ambiente e o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (IBAMA) em 1989, os Programas Nacionais de Meio Ambiente (I em 1991, II em 2000), Ministério do Meio Ambiente em 1992, e o Instituto Chico Mendes em 2007, entre outros reforços institucionais.

Além das medidas, o Brasil foi palco da primeira COP, no Rio de Janeiro em 1992, onde foram assinados alguns acordos ambientais relevantes até os dias de hoje (Moura, 2016), dentre eles a Agenda 21, elaborada desde 1997 mas lançada apenas em 2002, visando uma série de programas e objetivos ambientais a serem estabelecidos. Além de participar também de outros encontros como o acordo de Paris em 2015 (COP21), onde novas metas de redução de poluentes foram traçadas até 2025 e 2030.

Este trabalho visa identificar a situação do Brasil como emissor de poluentes dentro da cadeia global de valores sob a ótica da hipótese do paraíso de poluição. Para isso, foi adotada a metodologia de insumo-produto multirregional baseada no modelo de Zhang (2017), com decomposição estrutural das transações externas, possibilitando analisar cada uma das relações do Brasil com seus principais parceiros comerciais.

Foram utilizadas as matrizes de insumo-produto ambientalmente estendidas da Exiobase 3, que abrangem 163 setores agregados em 35⁴) em 44 economias internacionais. A metodologia permite estimar um balanço de emissões da indústria brasileira devido à demanda externa tanto diretamente, através do montante emitido nos processos de produção dos bens exportados, quanto indiretamente, ao longo de toda a cadeia produtiva (Duan *et al*, 2021; Zhang, 2017).

Os anos optados para as análises no presente trabalho são 2002 e 2022, pois é possível abranger um período onde tais mudanças institucionais e acordos estabelecidos puderam apresentar resultados, como a queda gradual do desmatamento da amazônia

⁴ A tabela de concordância para agregação dos setores é disponibilizada pela própria Exiobase, disponível em <https://ntnu.app.box.com/v/EXIOBASEconcordances> .

legal dos anos 1990 até os 2010 e aumento de hectares protegidos pelas Unidades de Conservação (PRODES, 2024), além possibilitar a captação das alterações estruturais da cadeia produtiva brasileira .

A análise permite compreender se a hipótese do paraíso de poluição se sustenta para o caso brasileiro. Isso é, com o balanço de emissões devido as transações externas tendo saldo positivo (Dietzenbacher, 2007; Zhang *et al*, 2017; Zhang e Wang, 2021); busca-se identificar como as relações do Brasil com seus principais parceiros comerciais impactam nas emissões domésticas do país, dado seu posicionamento na cadeia global de valor. Averiguando, também, as mudanças de 2002 para 2022, contribuindo assim para um debate cada vez mais relevante (Padhan and Bhat, 2023; Bashir, 2022; Anwar *et al*, 2022), porém pouco discutido para o caso brasileiro.

A seguir, seguem os capítulos de revisão bibliográfica, dividido em duas subseções: a primeira discute a teoria da hipótese do paraíso de poluição e a segunda apresenta uma série de trabalhos empíricos acerca da mesma. Para mais, o terceiro capítulo apresenta um breve contexto do cenário brasileiro, para que seja possível compreender melhor o caso das emissões. O quarto capítulo apresenta a origem dos dados utilizados para o trabalho, bem como a metodologia baseada em Zhang *et al*, (2017). O quinto capítulo discute os resultados da pesquisa, primeiro em um panorama geral, depois a partir de perspectivas bilaterais, por fim, nos contextos setoriais do Brasil. E, por fim, o sexto apresenta a conclusão final do presente trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os impactos do crescimento econômico são discutidos desde os autores clássicos (Smith, 1776; Malthus, 1798; Marx, 1867). Na era contemporânea, Kuznets (1955) discutiu a relação da desigualdade de renda com o crescimento econômico, chegando à conclusão de que existe uma curva em formato de “U” invertido, ou seja, quanto maior for o crescimento econômico de um país, maior a sua desigualdade de renda até determinado ponto de inflexão tal que, a partir dele, mais crescimento passa a refletir em uma menor desigualdade de renda.

Essa curva, em formato de “U” invertido, passou a ser conhecida como curva de Kuznets e a ser evidenciada em outras temáticas para além da desigualdade de renda. Um relatório do banco mundial (*The World Bank Development Report*, 1992) e os trabalhos de Grossman e Krueger (1993, 1994) apresentaram a relação entre o desenvolvimento de um país e suas emissões de poluentes e, como resultado, encontraram um comportamento no formato da curva de Kuznets. Ou seja, à medida em que o país se desenvolve, a emissão de poluentes aumenta até determinado momento de inflexão e, a partir desse ponto, quanto maior for o PIB menos poluição será gerada (Grossman e Krueger, 1993, 1994).

Grossman e Krueger (1994) levantaram três possíveis motivos para tal comportamento, tais como as especificidades do contexto histórico e regional em que os países se desenvolveram, as mudanças de demanda da população conforme a renda do país se eleva e as prioridades são gradualmente correspondidas, e por fim, a relação do crescimento econômico com a cadeia produtiva do país, de tal forma que em um primeiro momento as atividades mais poluidoras são mais incentivadas e, posteriormente com uma renda maior, os processos de produção mais limpos acabam sendo priorizados, ao mesmo tempo em que uma renda maior facilita a importação de bens mais intensivos em poluição, delegando o papel de produtor “sujo” para outros países de rendas mais baixas.

2.1 A HIPÓTESE DO PARAÍSO DE POLUIÇÃO

Como consequência de uma possível realocação das etapas de produção mais poluentes para países em desenvolvimento, degradando assim o meio ambiente desses países e correspondendo à etapa inicial da curva ambiental de Kuznets, a divisão da cadeia produtiva faz com que países de menor renda sejam mais poluentes. Essa é a ideia da hipótese do paraíso de poluição (*Pollution Haven Hypothesis*, PHH). (Birdsall and Wheeler, 1993. Cole *et al.*, 2006; Duan *et al.*, 2021)

Há, na verdade, dois conceitos distintos mas que se relacionam e, por vezes, são analisados de forma única em trabalhos empíricos. O primeiro, a PHH, trata-se da liberalização comercial como potencializador de setores poluentes em países onde a regulamentação ambiental é mais fraca, comumente associado aos países de menor PIB.

Já o segundo diz respeito a uma vantagem que indústrias mais poluentes possuem ao se alocarem em países com regulamentações ambientais mais brandas, este conceito é conhecido como efeito do paraíso de poluição (*Pollution Haven Effect, PHE*) (Copeland and Taylor, 2004; Duan *et al.*, 2021; Padhan and Bhat, 2023).

Ou seja, o efeito do paraíso poluidor determina que firmas mais poluentes busquem se alocar em locais menos rígidos em suas regulamentações ambientais por conta de suas vantagens comparativas, uma vez que, tudo o mais constante, seus custos seriam menores, estando assim de acordo com a teoria da localização (Krugman, 1993), mantendo relação com a fragmentação produtiva da economia atual, onde as firmas alocam suas etapas produtivas em diferentes países ao redor do globo devido às vantagens competitivas (Harvey, 1992; Zhang *et al.*, 2017), e comumente utilizando os dados de investimento direto externo para a sua análise.

Enquanto a hipótese trata da expansão dos setores poluentes dado a liberalização do comércio e os posicionamentos dos países dentro da cadeia global de valor. Indo além das escolhas das firmas estrangeiras, levando em consideração também a especialização produtiva da região. Ou seja, mesmo que um país não atraia firmas estrangeiras intensivas em poluição, desde que tenha um papel de exportador de bens poluentes dentro da cadeia global de valor, ele poderá ser considerado um paraíso de poluição (Dietzenbacher 2007, Zhang *et al.*, 2017).

Assim sendo, segundo a hipótese, uma liberalização do comércio potencializa indústrias poluentes em países cuja legislação ambiental são mais brandas e indústrias mais "limpas" onde a legislação ambiental seja mais rígida. Portanto, é esperado que haja uma certa relação entre ambos conceitos, de tal forma que possibilite trabalhos empíricos validarem *PHH* através da análise de Investimento Externo Direto (FDI) como variável explicativa para emissões de poluentes (Bekun *et al.*, 2023, Esmaelli *et al.*, 2023; Cole *et al.*, 2006; entre outros). Ainda, o efeito de paraíso da poluição pode ser tamanho que valide a própria hipótese, com a realocação das firmas ao redor do globo interferindo no papel produtivo/poluente do país em questão dentro da cadeia global de valores (Duan *et al.*, 2021).

McGuire (1982), utilizou um modelo teórico de Hecksin-Ohlin (modelo HO) com dois países que competem internacionalmente pela produção de um determinado bem poluente e concluiu que aquele que tiver a legislação mais branda e permissível terá uma certa vantagem competitiva sobre o outro. Dando indícios de uma validação da *PHH* mesmo antes de seu conceito ser concebido formalmente.

No curto prazo pode haver um efeito negativo das legislações ambientais sobre as firmas mais poluidoras. Entretanto, Porter (1991) afirma que há benefícios econômicos advindos de políticas ambientais rígidas. Por exemplo, um bem estar melhor para a população e maior duração dos recursos naturais necessários para qualquer tipo de atividade.

Favorecendo a economia tanto indireta quanto diretamente, como no caso das firmas que necessitam de água limpa para a sua produção, ou que sofrem com chuvas ácidas, se beneficiarem diretamente dos resultados de políticas ambientais eficazes acerca da preservação das bacias hidrográficas por exemplo.

Além deste argumento, Porter (1991) considera que uma legislação ambiental mais severa coloca em risco as firmas menos eficientes, estipulando uma variação de teoria de Hicks (1932). Nesse sentido, por exemplo, uma firma menos eficiente no ramo de construção de móveis que só se sustenta porque utiliza fornecimento de madeira ilegal, na verdade está atrapalhando as firmas mais eficientes que operam dentro da lei. Com uma legislação mais rígida, as firmas mais ineficientes deixariam o mercado e, com isso, o setor no geral se tornaria mais eficiente ao longo prazo. Uma vez tendo que rever seu planejamento produtivo, poderiam aproveitar para deixar o processo mais eficiente. De tal forma que a implementação de regulamentações ambientais mais rígidas passariam a beneficiar inclusive os setores previamente mais poluentes.

Os estudos de Porter (1991) resultaram, portanto, na Hipótese de Porter, em que legislações ambientais mais rígidas contribuem para o desenvolvimento econômico. Outra hipótese comumente levantada é a de Halo de Poluição (*Pollution Halo Hypothesis*) e consiste na abertura comercial contribuindo para a redução de emissões via trocas de tecnologia limpas, e, apesar de antagonica à *PHH*, comumente observavam-se ambas como resultados do mesmo trabalho empírico (Duan and Jiang, 2021).

2.2 TRABALHOS EMPÍRICOS

A temática da *PHH* e do *PHE* tem ganhado cada vez mais relevância entre os pesquisadores, sobretudo das escolas chinesas e estadunidenses (Padhan and Bhat, 2023) e possibilita diversas formas de análise, apesar da dificuldade de se aferir adequadamente a rigidez de políticas ambientais, sobretudo a nível internacional (Broner *et al.*, 2012). Enquanto alguns trabalhos avaliam o impacto dos FDI's nas emissões de poluentes, outros avaliam as transações internacionais e os papéis desempenhados pelos países dentro da cadeia global de valor (assim como este estudo). Há também alguns que buscam analisar a tomada de decisão das firmas mediante às legislações ambientais e os resultados, independente do método estabelecido, são diversos (Bashir, 2022; Padhan and Bhat, 2023).

Antes de comprovar a curva ambiental de Kuznets, Grossman e Krueger (1991) pesquisaram sobre o desenvolvimento econômico como fator agravante das emissões de poluentes e concluíram que quanto maior a renda do país, pior era a qualidade do ar. Investigaram também o caso de liberalização para o México, concluindo que o NAFTA beneficiaria a indústria especializada dos EUA e do Canadá, e a indústria de mão de obra não especializada do México, mas por uma ausência de dados não puderam concluir se o mesmo valeria para o caso de emissão de poluentes, apesar de dar indícios para tal.

Birdsall e Wheeler (1993) avaliaram o caso da liberalização do comércio sobre a poluição, em 25 países da América Latina durante o período de 1960 a 1988, de forma a contrariar a PHH, afirmando que uma abertura propicia o país a ter indústrias menos poluentes através das transferências tecnológicas e que, a PHH poderia ser válida mas para os países mais protecionistas, uma vez que essas tecnologias poderiam ser barradas, mesmo argumento da hipótese de halo de poluição. Apesar das limitações do trabalho, tanto pelo método escolhido, utilizando mínimos quadrados empilhados para correlacionar índices de abertura comercial com resíduos tóxicos, quanto pela escassez de dados disponíveis, foi um dos primeiros trabalhos empíricos de destaque acerca do tema e levantou a importância também da hipótese de halo de poluição.

Geralmente os trabalhos econométricos acerca das regulamentações ambientais e seus determinantes utilizam proxies, como indicadores de qualidade institucional em Chaudry *et al.*(2021) e Solarin *et al.*(2017), e índices para níveis da mesma como Je He (2006), dado a dificuldade de se mensurar a rigidez dos padrões ambientais. Estes focam, por vezes, na decisão das firmas estrangeiras em se alocar em países cujos padrões ambientais são mais permissíveis, e por outras nos impactos ambientais provocados por essas escolhas. As metodologias são diversas (ver tabela 1), bem como as conclusões, apontando desde a presença do PHE à presença da Hipótese de Halo.

Os trabalhos que utilizam insumo-produto como metodologia, geralmente, não visam averiguar o impacto de investimentos estrangeiros sobre o meio ambiente. O intuito é, na verdade, compreender o papel desempenhado pelo país dentro da cadeia global de valores e se essa contribui para o aumento ou decréscimo nas emissões mundiais, de tal forma que, uma vez que o país se torna um exportador de bens mais intensivos em poluição em seu processo de produção, ele se aproxima de ser um paraíso de poluição. Ou seja, ajuda a compreender a responsabilidade de cada país para um comércio global mais sustentável, tanto pelas emissões diretas de sua produção quanto pelas emissões geradas a partir de sua demanda internacional (Zhang and Wang, 2021; Zhang *et al.*, 2017).

Neste sentido, Dietzenbacher e Mukhopadhyay (2007) utilizaram vetores de emissões de CO₂, SO₂ e NO_x para a utilização de combustíveis fósseis (carvão e petróleo), possibilitando assim converter a utilização de tais insumos, em cada atividade econômica, em emissões geradas. Assim, analisaram o caso da Índia com as tabelas insumo-produto de 1991/1992 e 1996/1997 da WIOD¹, estimando o quanto um acréscimo de um bilhão de rúpias nas exportações geraria de emissões e o quanto um acréscimo de mesmo valor nas importações reduziria de emissões (pois o país deixaria de produzir o montante importado), e assim geraria um balanço de ambas estimativas de tal forma que, para o caso da Índia onde as estimativas de emissões reduzidas pelas importações foram quase o dobro das emitidas pelas exportações, significa um distanciamento de um paraíso de poluição, uma

¹ World input-output database.

vez que, dentro da cadeia produtiva global, a Índia se beneficiaria, em termos de emissões, de um aumento nas transações.

López *et al.* (2013) utilizaram as tabelas de insumo-produto da WIOD² de 1995 a 2009 para 113 países e 35 indústrias, apresentando informações sobre o consumo de energia e emissões de CO₂ para cada uma. E também partiram da lógica de balanço de emissões (incorporadas nas exportações subtraídas das evitadas pelas importações), porém desagregando as emissões domésticas de cada região e gerando um balanço doméstico de fatores contidos (BDFC) que possibilita identificar bens finais e intermediários e um de emissões evitadas (BAE). Como resultado, encontraram que o carbono virtual³ passou a representar 23,5 % em 2009 ante a 17 % em 1995, além disso, na União Europeia, NAFTA e Leste Asiático as emissões diretas são mais impactantes, enquanto na China as indiretas, associadas ao setor de energia elétrica, representaram quase 50 %. Como principal conclusão, tiveram que a China se destaca se tornando um paraíso de poluição devido aos linkages domésticos, representando mais de 60 % do carbono virtual nas exportações do país.

Zhang *et al.* (2017), tendo as tabelas de insumo-produto da WIOD, que contemplava 43 economias e 56 setores, de 1995 a 2009 como base dados, utilizaram o método de cálculo de balanço de emissões evitadas também decompondo as emissões domésticas e considerando "emissões domésticas induzidas pelas exportações" apenas aquelas relacionadas aos linkages domésticos, para evitar dupla-contagem. Assim, analisaram os efeitos da fragmentação produtiva nas emissões CO₂ ao redor do globo. Como resultado, obtiveram que as emissões devido às transações de bens intermediários cresceram ao longo do tempo, que um quarto das emissões totais mundiais são induzidas pelo comércio internacional e que a China se destaca se tornando um paraíso de poluição.

Cai *et al.* (2018) trabalharam com a tabela de insumo-produto do Eora para a análise dos países do *Belt and Road*⁴ e suas posições dentro da cadeia global de valores em termos de poluentes, com dados de 26 setores para o ano de 2013. Também foi utilizada a ideia de balanço de emissões, calculando as emissões de carbono incorporadas nas exportações e importações, mas além disso foi feito um modelo de *PHH* validado, que além de verificar a *PHH* através dos balanços de emissões, explora o mecanismo de formação dos *PHH*. Concluíram que a hipótese se sustenta para 22 países desenvolvidos, com a realocação de indústrias mais sujas, 19 em desenvolvimento e a China, que se tornaram paraísos de poluição devido à fragmentação produtiva.

² *World input-output database.*

³ As emissões de carbono incorporadas tanto direta quanto indiretamente nas transações internacionais.

⁴ Iniciativa que contemplava 64 nações na época (hoje 149), sobretudo da África Sub-Saariana, leste europeu, Ásia e América do Sul, promovendo maior integração econômica entre elas <https://greenfdc.org/countries-of-the-belt-and-road-initiative-bri/>

Zhang e Wang (2021) utilizaram como base de dados as tabelas de insumo-produto da WIOD e os vetores de emissões de CO₂, SO₂ e NO_x do Eora entre 2000 e 2014 para 43 economias e 56 indústrias (fazendo os ajustes entre as bases de dados). Dividiram as emissões de um país entre aquelas induzidas pela atividade doméstica e pelo comércio internacional, além das geradas pela transação dos bens finais, intermediários e relacionados à cadeia global em dois cenários diferentes: com total liberalização do comércio em sem essa liberalização. Ao contrário do que argumenta a PHH, o efeito da liberalização das transações reduziu as emissões totais de poluentes ao redor do globo, entretanto, cada país apresentou seu próprio saldo, enquanto na Índia a liberalização seria positiva (indo de acordo com Dietzenbacher (2007)), na China a liberalização teria um saldo negativo para o meio ambiente (indo de acordo com Zhang *et al.* (2017)). Além disso, há especificidades, para o caso estadunidense, por exemplo, devido ao setor de transporte o país pode ser considerado um paraíso de poluição nas emissões de SO₂ e NO_x devido às transações intermediárias.

Duan, Ji e Wu (2021) também utilizaram a mesma base de dados e os mesmos poluentes, para 40 países mais um agregado de resto do mundo e 35 indústrias entre 1995 e 2011. Os autores reafirmam a importância de se levar em conta a cadeia global de valor e, ao fazerem a análise utilizando os valores-adicionado conseguem aferir melhor onde se encontram os paraísos de poluição. Assim, são utilizados modelos de insumo-produto, decomposição estrutural e análises econométricas para averiguar o *PHE*. Confirmaram que, utilizando valor-adicionado, as evidências para o efeito são fortes, entretanto, utilizando apenas as emissões brutas, as evidências se tornam fracas, resultando em um repasse de países de maiores renda para os de menores, não de firmas poluentes por si, mas de estágios de produção mais intensivos em poluição.

Duan *et al* (2021) fizeram uma análise quantitativa sobre as emissões globais de poluentes através da elaboração de um modelo de equilíbrio geral utilizando as tabelas da WIOD (para 32 países mais um agregado de resto do mundo), o valor-adicionado e as contas de salário da *Industrial Statistics Database* para o ano de 2007 e emissões de poluentes⁵. E modelos econométricos utilizando, além das variáveis anteriores, os PIBs e impostos ambientais dos países. Foi explorado tanto o *PHE*, criando choques sobre os impostos ambientais para estimar os efeitos sobre a produção e sobre as emissões, quanto a *PHH*, impondo uma queda sobre os custos transacionais (aumentando assim a liberalização econômica) e estimando os impactos sobre as emissões e os fluxos comerciais. Encontraram evidências para a *PHE*, com as políticas ambientais afetando as emissões de poluentes. Porém o resultado encontrado foi contrário à *PHH*, ou seja, a liberalização do comércio foi favorável ao meio ambiente, o que, segundo os autores, é condizente com a curva ambiental de Kuznets, uma vez que proporciona o aumento na renda via trocas.

⁵ CO₂, SO₂, NO_x, e componentes orgânicos voláteis.

Duan e Jiang (2021) utilizaram insumo-produto multirregional e interindustrial, distinguindo as atividades das multinacionais para estudar o papel dessas nas emissões globais de CO₂. Foi utilizada como base a tabela AMNE⁶ de insumo-produto da OCDE, com 60 regiões e 34 indústrias para o ano de 2016. Foram estimados dois cenários, um como se os produtos finais e intermediários produzidos pelas firmas estrangeiras fossem produzidos pelos países hospedeiros e outro como se as firmas domésticas substituíssem as multinacionais nos países sedes. Criando assim, dois cenários de anti-globalização distintos. Em ambos cenários as emissões globais de CO₂ estimadas foram menores (diminuindo 278Mt no primeiro cenário e 1170Mt de CO₂ no segundo). Como conclusão, obtiveram que as multinacionais estrangeiras emitem indiretamente mais CO₂, a partir da cadeia global de valores, com um impacto considerável sobretudo no segundo cenário. A nível regional, o produto final geraria menos poluentes em 50 das 60 regiões econômicas, validando, portanto a PHH de forma abrangente. Vale ressaltar também a importância de utilizarem valor-adicionado para a análise, uma vez que, quando os autores estimaram apenas com as emissões finais, o resultado foi oposto, validando a hipótese de halo de poluição.

Para o caso brasileiro, não foram encontrados muitos trabalhos específicos acerca da hipótese do paraíso de poluição. Abdouli *et al* (2017), Yilanci *et al* (2020), Zhang e Wang (2021) analisam também o Brasil, mas com foco geral. Abdouli *et al* (2017) ressaltam que o Brasil é o único dos países analisados onde o aumento do consumo de energia não apresenta impacto significativo para as emissões de CO₂. Yilanci *et al* (2020) encontram resultados mistos para o caso brasileiro, de tal forma que o *FDI* impacta nos dois sentidos, sendo responsável direto por mais emissões e indireto pelo "avanço" na curva ambiental. E Zhang e Wang (2021) determinam que, a grosso modo, a liberalização do comércio faria o Brasil se distanciar ainda mais de ser um paraíso de poluição, apesar do país já apresentar um saldo de emissões favorável.

E trabalhos como Machado *et al.* (2001), cujo resultado apresenta o Brasil, em 1995, como um país que não era intensivo em gastos energéticos mas que exportava bens poluentes e importava bens limpos, dando indícios da *PHH*; Souza *et al* (2015), que é um dos trabalhos que diagnóstica o setor de transporte como o mais poluente (assim como o relatório da OCDE, 2021); e Imori e Guilhoto (2015), que testemunharam uma queda nas emissões de poluentes relacionados ao mercado internacional e inter-regional após as políticas de mitigação de poluição do governo, mesmo nos setores mais poluentes, ressaltam a importância de se estudar a hipótese do paraíso de poluição com o foco no país. Polloni *et al* (2021) analisaram a curva ambiental de Kuznets, a *PHH* e a hipótese de halo de poluição para o caso do estado de São Paulo, através de uma análise econométrica tendo o *FDI* como variável dependente, e, como resultado obtiveram que há uma relação não-linear entre o PIB e as emissões de CO₂, porém não no formato da curva ambiental de

⁶ *Activities of Multinational Enterprise* <https://www.oecd.org/sti/ind/amne.htm>

Kuznets, além de um impacto negativo do *FDI* sobre as emissões de CO₂, dando indícios da hipótese de halo de poluição para o estado.

Metodologias de decomposição estrutural são comumente utilizadas nos trabalhos cujo objetivo é analisar a relação entre emissões locais e comércio internacional, como a SDA utilizada por Xu e Dietzenbacher, 2014, que possibilitou aos autores identificar as mudanças estruturais das transações de bens intermediários e finais como as principais forças motrizes nas mudanças do cenário de emissões incorporadas no comércio internacional entre 1995 e 2007 para 40 países da WIOD; o multiplicador de Miyazawa, utilizado por Vale *et al*, 2017, que possibilitou os autores a estimar os efeitos técnicos (relacionado às intensidades de poluição) e os efeitos de composição (relacionados às mudanças estruturais), ressaltando o papel dos efeitos *feedback* e concluindo que o Sul global se especializou em atividades mais intensivas em poluição de 1996 a 2006, indo de acordo com a PHH. A SDA decompõe as mudanças de uma variável ao longo do tempo, enquanto o multiplicador de Miyazawa pode ser utilizado para captar os efeitos de cada ano.

Há ainda a decomposição através da LMDI⁷ (Freitas e Kaneko, 2011; Jeong e Kim, 2013; Zhang *et al*, 2017; Wang *et al*, 2020), que pode ser tanto multiplicativa quanto aditiva, permite agregações e pode ser decomposta tanto em indicadores quantitativos quanto intensivos (Ang, 2015). Assim como em Zhang *et al*, 2017, o presente trabalho utiliza a decomposição LMDI para a análise das mudanças (de 2002 e 2022) dos fatores de emissões locais, embutidos na demanda externa por bens finais, intermediários e relacionados à cadeia global de valores. Mas o mesmo ainda pode ser utilizado de outras formas, como em Wang *et al*, 2020, para analisar as mudanças das emissões de 1997 a 2016 em seis fatores para os Estados Unidos, permitindo com que os autores concluíssem, por exemplo, que o efeito escala foi o principal fator para o aumento das emissões, enquanto o efeito tecnológico o principal para as mitigações das emissões.

Esse presente trabalho contribui com a literatura ao analisar o caso da hipótese de paraíso da poluição para o Brasil, que, como dito, foi apenas citado em trabalhos gerais (Abdouli *et al*, 2017; Yilanci *et al*, 2020; Zhang e Wang, 2021). Uma análise única para o Brasil, abordando os setores e as diferentes formas de demanda por emissão, tanto direta quanto indiretamente, pode ser benéfico para a compreensão da relação econômico-ambiental desse país que, apesar de ter uma matriz energética onde 77 % da energia elétrica é renovável, bem como 39 % da primária (OCDE, 2015), configura entre os 7 maiores emissores de CO₂ oriundos da queima de combustíveis fósseis desde o início do século XX (Global Carbon Budget, 2022; Our World in Data, 2023). Assim, através da metodologia de insumo-produto multirregional similar a Zhang *et al*, (2017) é possível verificar as diferentes causas das emissões de carbono da economia brasileira, as devidas à demanda doméstica e à externa, essa dividida entre a causada pela demanda por bens

⁷ Log-Divisia Index Method

fnais, intermediários ou devido ao efeito da cadeia global de valor.

Tabela 1 – Trabalhos empíricos

| Artigo | Período de análise | Região | Método | Variáveis | PHH |
|-------------------------------|--------------------|--|--|--|----------|
| Abdouli <i>et al</i> (2017) | 1990-2014 | BRICTS | MQO, EF, EA e GMM dinâmico. | Fluxo de FDI, densidade populacional, PIB, consumo de energia e emissões de CO2 | Sim |
| Bekun <i>et al</i> (2023) | 1970-2016 | Turquia | ARDL e MQO dinâmico | FDI sobre o impacto ambiental | Sim |
| Birdsall and Wheeler (1993) | 1960-1988 | 25 países da América Latina | MQO empilhado | Resíduos tóxicos, PIB per capita, abertura comercial | Não |
| Broner <i>et al.</i> , (2012) | 2005 | Indústrias do EUA e países que importam dos EUA | 2SLS com VI | Coefficiente de ventilação como instrumento para regulamentação ambiental, PIB per capita, emissões de CO, SO2 e NOx | Sim |
| Cai <i>et al</i> (2018) | 2013 | Região <i>Belt and Road</i> (64 nações) e 26 setores, com foco na China. | Insumo-produto multirregional e um modelo de PHH validado. | Tabela de insumo-produto do Eora, emissões de CO2 | Sim |
| Chaudry <i>et al</i> (2021) | 1995-2019 | BRICS | Efeito dinâmico de correlação comum | Pegada ambiental, FDI, PIB, consumo de energia e qualidade institucional | Sim |
| Cole <i>et al</i> (2006) | 1982-1992 | 33 países (13 OCDE e 20 países em desenvolvimento) | 2SLS | FDI, PIB, população, inflação, regulação ambiental | Depende* |

| | | | | | |
|---------------------------------------|-----------------------|--|---|--|-------------------------------|
| Dean <i>et al.</i> ,(2008) | 1993-1996 | China | Logit | Investimentos das EQJ ⁸ na China, poluição das águas e intensidade de emissões. | Sim ⁹ |
| Dietzenbacher and Mukhopadhyay (2007) | 1991/1992 e 1996/1997 | Índia | Insumo-produto multirregional | Tabela de insumo-produto, emissões de CO ₂ , emissões de SO ₂ e de NO _x . | Não |
| Duan and Jiang (2021) | 2016 | 60 regiões e 34 indústrias | Insumo-produto multirregional e interindustrial | Tabela de insumo-produto AMNE da OCDE e emissões de CO ₂ | Sim, além da poluição de halo |
| Duan <i>et al.</i> , (2021) | 2007 | 32 países mais um agregado de resto do mundo | Insumo-produto e modelos econométricos | Tabela de insumo-produto da WIOD, emissões de CO ₂ , SO ₂ , CO, NO _x , componentes orgânicos voláteis, PIB e taxações ambientais. | Sim, mas fraco* |
| Duan, Ji and Yu (2021) | 1995-2011 | 40 economias mais um agregado de resto do mundo, 35 indústrias | Insumo-produto e modelos econométricos | Tabela de insumo-produto da WIOD, emissões de CO ₂ , SO ₂ e NO _x | Sim |

⁸ Equity Jointventures

⁹ A hipótese é válida apenas para os setores mais intensivos em poluição, entretanto o investimento realizado não é oriundo de países desenvolvidos.

| | | | | | |
|------------------------------|-------------|--|-------------------------------|--|---------|
| Eskelanda e Harrisonb (2003) | 1982 e 1993 | Mexico, Venezuela, Marrocos, Costa do Marfim como destinatários FDI e EUA como país sede | Dados em painel | Custos em redução de poluentes, emissões tóxicas, tamanho de mercado, barreiras protecionistas, Intensidade energética, FDI. | Não |
| Esmali et al.,(2023) | 1995-2019 | N11 | Regressão quantílica | FDI, Complexidade econômica, energia renovável e emissão de CO2 | Sim |
| Garsous and Koźluk (2017) | 1995-2011 | 23 países da OCDE | Modelo gravitacional, | FDI, custos de energia doméstica | Sim |
| Je He (2006) | 1994-2001 | China | GMM | FDI, PIB, índice para níveis de regulamentação ambiental e emissões de dióxido de enxofre | Sim |
| López et al., (2013) | 1995-2009 | 113 países e 35 indústrias com foco na China | Insumo-produto multirregional | Tabela de insumo-produto da WIOD e emissões de CO2 | Sim |
| Ozkan et al (2023) | 1990-2019 | China | DARDL | Eficiência de carbono; FDI, PIB, eficiência energética e abertura comercial | Variado |
| Sapkota and Bastola (2017) | 1980-2010 | América Latina | Dados em Painel | FDI, PIB e emissões de poluentes | Sim |
| Shabaz et al.,(2019) | 1990-2015 | MENA | GMM | PIB, FDI, consumo de energia de biomassa e emissões de CO2 | Sim |

| | | | | | |
|------------------------------|-----------|--------------------------------|--|---|---------|
| Solarin <i>et al.</i> (2017) | 1980-2012 | Gana | ARDL | PIB, FDI, abertura comercial, qualidade institucional, emissões totais de CO2 e emissões de CO2 provenientes de recursos do petróleo. | Sim |
| Wang <i>et al.</i> (2019) | 1982-2014 | BRICS e MINT ¹⁰ | VECM e testes de co-integração | Emissões de CO2 per capita, PIB per capita, consumo de energia per capita, FDI, abertura comercial e urbanização | Não |
| Yilanci <i>et al.</i> (2020) | 1982-2014 | BRICS | FARDL | Consumo de energia per capita, FDI, PIB | Diverso |
| Zhang and Wang (2021) | 2000-2014 | 43 economias e 56 setores | Insumo-produto multirregional | Tabela de insumo-produto da WIOD e emissões de CO2, SO2, NOx | Diverso |
| Zhang <i>et al.</i> (2017) | 1995-2009 | 43 economias com foco na China | Insumo-produto multirregional, decomposição estrutural | Tabela de insumo-produto da WIOD e emissões de CO2 | Sim |

¹⁰ México, Indonésia, Nigéria e Turquia

3 CONTEXTO BRASILEIRO

Dentro da cadeia global de valores, o Brasil desempenha um papel de produtor de bens intermediários (Araújo *et al.*, 2021; OCDE, 2021). Entretanto os bens e serviços exportados e seus níveis de intensidade variam de acordo com as diferentes relações comerciais. Apesar de apresentar tal papel dentro das principais relações, com Estados Unidos, China e União Europeia (OCDE, 2021), o país desempenha um papel centralizador e exportador de bens finais quando se trata das relações com o bloco do MERCOSUL (Araújo *et al.*, 2021). O que reflete, portanto, na necessidade de análise em diferentes níveis para cada uma dessas relações, identificando os principais setores responsáveis pelas emissões de CO₂, tanto em termos brutos quanto em valor adicionado da cadeia produtiva, em cada uma dessas relações bilaterais.

Entre 2008 e 2018, o Brasil apresentou um aumento nas exportações, correspondendo a 12,6 % e 13 % do produto brasileiro respectivamente, apesar do crescimento, ainda se encontra bem abaixo da média da OCDE (27,9 %) e do G20 (18,3 %). Em termos de valor adicionado, a demanda final externa foi responsável por 12,8 % e 13,5 % da produção doméstica brasileira em 2008 e 2018, respectivamente, também abaixo das médias de tais agrupamentos. (OCDE,2021)

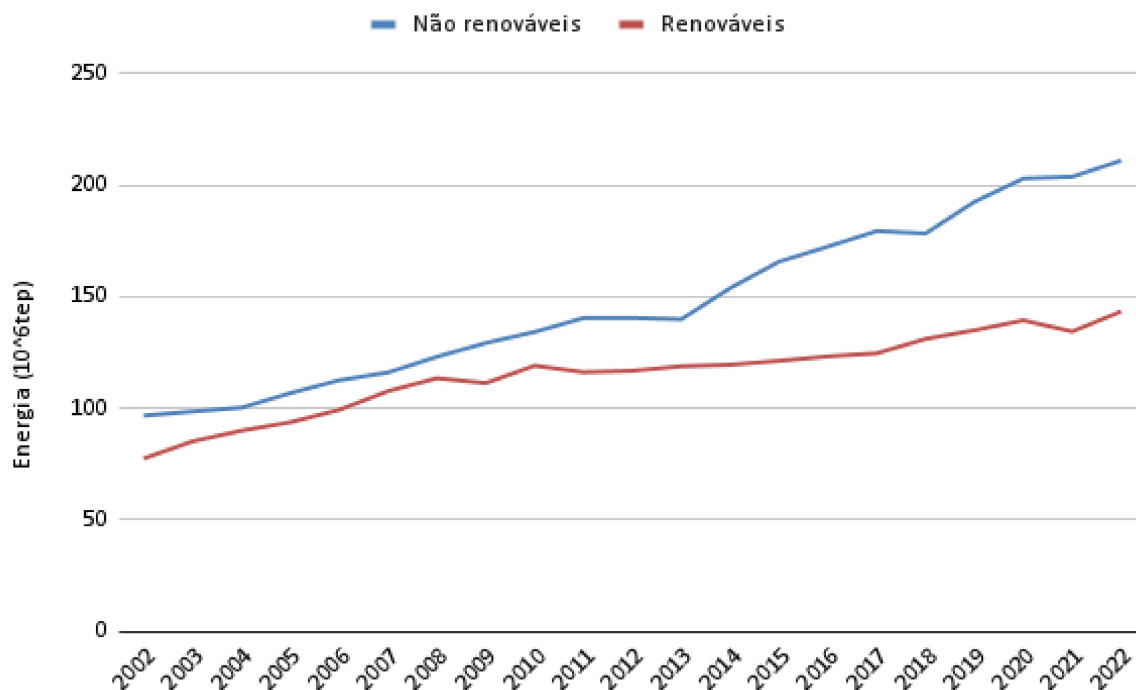
Dentre os países do BRIICS, o Brasil possui o maior sistema de energia renovável, correspondente a 77 % da energia elétrica e 39 % da energia primária total. (OCDE 2015). O país já havia, em 2015, alcançado níveis de emissões de CO₂ bem abaixo da meta estipulada para 2020 (pela Política Nacional sobre Mudanças no Clima, de 2010). Porém, houveram aumentos em níveis de poluição do ar em algumas cidades como São Paulo, além de um aumento significativo do uso da água para a agricultura. (OCDE 2015)

Acerca das energias primárias, o país apresentava um aumento das fontes renováveis até 2013, chegando a corresponder a 48,12 % da produção de energia primária em 2007. Entretanto, após 2013, o aumento da produção de energia primária renovável não acompanhou o das fontes não-renováveis, chegando a corresponder apenas a 39,74 % em 2021, conforme os dados da EPE¹ apresentados na figura 1.

Vale ressaltar que o fato de uma fonte de energia ser renovável não implica, necessariamente, na mesma ser considerada limpa, como a queima de lenha reflorestada, por exemplo, que correspondia a 13,56 % em 2002 e caiu para 7,70 % em 2022 (EPE, 2023), ou mesmo os produtos derivados da cana, como etanol, que apesar de ser mais limpo que seu substituto (gasolina), ainda emite poluentes, deste, é possível acompanhar um aumento até 2013, quando correspondia a 19,04 % da energia primária total, ante 14,50 % em 2002 (EPE, 2023), porém desde então sua participação apresenta uma queda, chegando a 13,47% em 2022, o que reflete, em partes, diferentes momentos das políticas

¹ Empresa de Energia Elétrica

Figura 1 - Fontes de Energia no Brasil



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2023

de incentivo a produção de biocombustível no país.

Em contrapartida, o petróleo, principal fonte de energia do país, apresentou um aumento em sua participação total nos anos recentes. Em 2002 correspondia a 42,97%, passando a representar 44,11% das fontes de energia do país em 2022. Além do hidrocarboneto, as principais fontes são o gás natural (14,09%), os produtos derivados da cana (13,47%) e a hidráulica (10,35%), esta última apresentou uma queda comparado a 2002, quando correspondia a 14,11%. Tais alterações nas matrizes energéticas impactam diretamente às emissões causadas pela produção brasileira.

Quando se trata de investimentos públicos, no Brasil houve um aumento dos recursos investidos para a preservação ambiental, correspondendo a 0,4 % do orçamento federal em 2014 (OCDE, 2015), valor relativamente baixo. Em termos de impostos sobre combustíveis, o cenário brasileiro apresenta uma taxa relativamente baixa comparada à média mundial, entretanto, não há forte relação entre o aumento de tais impostos e a redução das emissões de CO₂ (OCDE 2015). Houve também esforços para investir em energia renovável, tal atividade representou 15 % dos empréstimos do BNDES², o que contribuiu para o que o Brasil se tornasse um dos principais produtores de energia renovável no mundo (OCDE, 2015). Porém, houve uma queda sobre a produção de etanol.

O Brasil possui uma forte estrutura energética renovável viável por conta de seus

² Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social

recursos naturais, o que o torna único quando se realiza qualquer análise ambiental. Entretanto, quando se tratam de políticas que visam o combate de emissões de CO₂, os investimentos são relativamente baixos e, com a nova ideia econômico-ambiental do crédito de carbono, esse "saldo positivo" que o país apresenta pode acabar atraindo indústrias mais poluentes. Também é necessária a avaliação por setor pois, tanto por conta das energias renováveis quanto pelas redes rodoviárias como principais vias comerciais, setores como o de equipamentos e transporte apresentam elevadas taxas em seus multiplicadores de CO₂ (OCDE, 2021; Souza *et al.*, 2015).

4 DADOS E METODOLOGIA

O presente trabalho utiliza as tabelas de insumo-produto multirregional estendida ambientalmente da Exiobase 3 (Exiobase, 2023) para os anos de 2002 e 2022, uma vez que é a base de dados mais atualizada disponível. Entretanto, a completude das tabelas de insumo-produto compreende apenas até 2011, a partir desse ano as demais tabelas são interpoladas, com atualizações anuais das variáveis macroeconômicas até 2022 e das ambientais até 2019. Assim sendo, utilizar os anos de 2002 e 2022 garante captar as mudanças estruturais da produção dos países até 2011.

A mesma abrange 163 setores em 44 países e conta com diversos indicadores ambientais relacionados ao comércio internacional, dentre eles, são utilizados os de emissões de CO2 pelas queimas de combustíveis fósseis no presente trabalho. São disponibilizadas as variáveis ambientais tanto dividida por setor e produtos (impactos), quanto generalizadas em regiões (satélites); como o intuito é justamente relacionar as emissões com os *linkages* econômicos, o indicador de emissões de CO2 utilizado se encontra no primeiro grupo.

A análise de insumo-produto (Miller e Blair, 2022) do presente trabalho é feita de forma multirregional, assim como os trabalhos mencionados na segunda sessão (ex, Zhang *et al*, 2017; López *et al*, 2013; etc), utilizando a mesma ideia de balanço de emissões proporcionadas pelas exportações e se baseando, sobretudo, no trabalho de Zhang *et al*,(2017). O modelo de insumo-produto multi-regional (Leontief, 1941) tem sua estrutura básica com o balanço do fluxo monetário.

$$\begin{bmatrix} X^1 \\ X^2 \\ \vdots \\ X^g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A^{11} & A^{12} & \dots & A^{1g} \\ A^{21} & A^{22} & \dots & A^{2g} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A^{g1} & A^{g2} & \dots & A^{gg} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X^1 \\ X^2 \\ \vdots \\ X^g \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sum_r^G Y^{1r} \\ \sum_r^G Y^{2r} \\ \vdots \\ \sum_r^G Y^{gr} \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

Onde X^s representa o produto do país s $s = 1, \dots, g$ e Y^{sr} representa a demanda final do país r ($r = 1, \dots, g$) por produtos do país s . A^{sr} é o coeficiente de insumos que representa o uso intermediário na região r de bens produzidos na região s . Os elementos do coeficiente de insumos da matriz satisfazem $a_{ij}^{sr} = z_{ij}^{sr}$ em que z_{ij}^{sr} ($i, j = 1, \dots, n$) representa a transferência do setor i da região s para o setor j da região r . A matriz de insumos intermediários do país s para o país r é representada por $Z^{sr} = A^{sr} X^r$.

Rearranjando, tem-se

$$\begin{bmatrix} X^1 \\ X^2 \\ \vdots \\ X^g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I - A^{11} & -A^{12} & \dots & -A^{1g} \\ -A^{21} & I - A^{22} & \dots & -A^{2g} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -A^{g1} & -A^{g2} & \dots & I - A^{gg} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X^1 \\ X^2 \\ \vdots \\ X^g \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sum_r^G Y^{1r} \\ \sum_r^G Y^{2r} \\ \vdots \\ \sum_r^G Y^{gr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B^{11} & B^{12} & \dots & B^{1g} \\ B^{21} & B^{22} & \dots & B^{2g} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ B^{g1} & B^{g2} & \dots & B^{gg} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sum_r^G Y^{1r} \\ \sum_r^G Y^{2r} \\ \vdots \\ \sum_r^G Y^{gr} \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

Em que B^{sr} é a matriz inversa de Leontief e representa a quantidade de produto da economia s para o acréscimo de uma unidade na demanda final do país r . A produção do país r é dada por:

$$X^r = \sum_t^G B^{rt} \sum_t^G Y^{tu} \quad (4.3)$$

O insumo intermediário do país r para o país s é $BZ^{sr} = A^{sr} X^r$. Com as exportações do país r sendo $T^{sr} + A^{sr} X^r$, Zhang *et al.*,(2017) e Wang *et al.*,(2013) afirmam que $B^{srr} = L^{rr} \sum A^{rt} B^{tr}$, resultando assim em:

$$T^{sr} = \underbrace{Y^{sr}}_{Tf^{sr}} + \underbrace{A^{sr} L^{rr} Y^{rr}}_{Ti^{sr}} + \underbrace{A^{sr} L^{rr} \sum_{t \neq r} A^{rt} B^{tr} Y^{rr} + A^{sr} \sum_{t \neq r} B^{rt} Y^{tr} + A^{sr} \sum_t B^{rt} \sum_{u \neq r} Y^{tu}}_{Tg^{tr}} \quad (4.4)$$

Em que $L^{rr} = (1 - A^{rr})^{-1}$ é a matriz inversa de Leontief doméstica da região r . Sendo assim, Tf^{sr} define as transações dos produtos finais, Ti^{sr} define as transações dos bens intermediários para o último estágio da produção internacional, necessitando de apenas um processo além para ser absorvida. E por fim, Tg^{rs} é a associada à cadeia global de valor, ou seja, às transações de bens utilizados para gerar bens intermediários, cruzando a fronteira mais de uma vez e podendo ser absorvida tanto pelo exportador, importador ou ainda por uma terceira região ao final da cadeia produtiva.

Como $X^s = A^{ss} X^s + Y^{ss} + \sum_{s \neq r}^M T^{sr}$, é possível decompor o produto gerado por cada indústria e região em diferentes componentes:

$$X^s = L^{ss} Y^s + L^{ss} \sum_{s \neq r}^G Tf^{sr} + L^{ss} \sum_{s \neq r}^G Ti^{sr} + L^{ss} \sum_{s \neq r}^G Tg^{sr} \quad (4.5)$$

Decompondo, assim, a produção do país s em quatro termos: induzida pela demanda doméstica através de *linkages* intrarregionais; induzida pela exportação do produto final; pela exportação do bem intermediário tradicional e pela transação relacionada à cadeia global de valores.

A intensidade das emissões de carbono do setor i do país s é definida como $f_i^s = e_i^s/x_i^s$ em que e_i^s são as emissões do setor i da região s . A base de dados a Exiobase 3 disponibiliza diversos coeficientes de indicadores ambientais, nesse caso serão utilizados os de emissões de CO₂.

Assumindo F^s como uma matriz diagonal decomposta de f_i^s . A emissão do país s é:

$$E^s = F^s L^{ss} Y^s + F^s L^{ss} \sum_{s \neq r}^G T f^{sr} + F^s L^{ss} \sum_{s \neq r}^G T i^{sr} + F^s L^{ss} \sum_{s \neq r}^G T g^{sr} \quad (4.6)$$

Em que, similar à equação anterior, o primeiro termo diz respeito às emissões induzidas apenas pela demanda doméstica, o segundo pela transação do bem final, o terceiro pela do bem intermediário tradicional e o último pela relacionada à cadeia global de valor.

As emissões domésticas incorporadas nas exportações do país s para o país r é dada por:

$$EEX^{sr} = F^s L^{ss} T^{sr} = F^s L^{ss} T f^{sr} + F^s L^{ss} T i^{sr} + F^s L^{ss} T g^{sr} \quad (4.7)$$

Esse trabalho, seguindo a metodologia de Zhang et al(2017), adota a decomposição LMDI.

$$\Delta EEX_F^{sr} = \sum_{i,j,p} \frac{F_{ii,t1}^s L_{ij,t1}^{ss} T_{j,p,t1}^{sr} - F_{ii,t0}^s L_{ij,t0}^{ss} T_{j,p,t0}^{sr}}{\ln(F_{ii,t1}^s L_{ij,t1}^{ss} T_{j,p,t1}^{sr}) - \ln(F_{ii,t0}^s L_{ij,t0}^{ss} T_{j,p,t0}^{sr})} \ln \frac{F_{ii,t1}^s}{F_{ii,t0}^s} \quad (4.8)$$

$$\Delta EEX_F^{sr} = \sum_{i,j,p} \frac{F_{ii,t1}^s L_{ij,t1}^{ss} T_{j,p,t1}^{sr} - F_{ii,t0}^s L_{ij,t0}^{ss} T_{j,p,t0}^{sr}}{\ln(F_{ii,t1}^s L_{ij,t1}^{ss} T_{j,p,t1}^{sr}) - \ln(F_{ii,t0}^s L_{ij,t0}^{ss} T_{j,p,t0}^{sr})} \ln \frac{L_{ii,t1}^s}{L_{ii,t0}^s} \quad (4.9)$$

$$\Delta EEX_F^{sr} = \sum_{i,j,p} \frac{F_{ii,t1}^s L_{ij,t1}^{ss} T_{f j,p,t1}^{sr} - F_{ii,t0}^s L_{ij,t0}^{ss} T_{f j,p,t0}^{sr}}{\ln(F_{ii,t1}^s L_{ij,t1}^{ss} T_{f j,p,t1}^{sr}) - \ln(F_{ii,t0}^s L_{ij,t0}^{ss} T_{f j,p,t0}^{sr})} \ln \frac{T_{f ii,t1}^{sr}}{T_{f ii,t0}^{sr}} \quad (4.10)$$

$$\Delta EEX_F^{sr} = \sum_{i,j,p} \frac{F_{ii,t1}^s L_{ij,t1}^{ss} T_{i j,p,t1}^{sr} - F_{ii,t0}^s L_{ij,t0}^{ss} T_{i j,p,t0}^{sr}}{\ln(F_{ii,t1}^s L_{ij,t1}^{ss} T_{i j,p,t1}^{sr}) - \ln(F_{ii,t0}^s L_{ij,t0}^{ss} T_{i j,p,t0}^{sr})} \ln \frac{T_{i ii,t1}^{sr}}{T_{i ii,t0}^{sr}} \quad (4.11)$$

$$\Delta EEX_F^{sr} = \sum_{i,j,p} \frac{F_{ii,t1}^s L_{ij,t1}^{ss} T_{g j,p,t1}^{sr} - F_{ii,t0}^s L_{ij,t0}^{ss} T_{g j,p,t0}^{sr}}{\ln(F_{ii,t1}^s L_{ij,t1}^{ss} T_{g j,p,t1}^{sr}) - \ln(F_{ii,t0}^s L_{ij,t0}^{ss} T_{g j,p,t0}^{sr})} \ln \frac{T_{g ii,t1}^{sr}}{T_{g ii,t0}^{sr}} \quad (4.12)$$

Decompondo assim as emissões domésticas induzidas pelas exportações em três termos: relacionados à exportação do produto final, à exportação dos bens intermediários e às relacionadas à cadeia global de valor.

A partir do EEX^{sr} é possível calcular o balanço de emissões, de tal forma que:

$$\begin{aligned} BEE^{sr} &= EEX^{sr} - EEX^{rs} = F^s L^{ss} T^{sr} - F^r L^{rr} T^{rs} = (F^s L^{ss} T^{f sr} - F^r L^{rr} T^{f rs}) + \\ & (F^s L^{ss} T^{i sr} - F^r L^{rr} T^{i rs}) + (F^s L^{ss} T^{g sr} - F^r L^{rr} T^{g rs}) \end{aligned} \quad (4.13)$$

Ou seja

$$BEE^{sr} = \sum_{r \neq s}^G EEX^{sr} - \sum_{r \neq s}^G EEX^{rs} \quad (4.14)$$

Assim sendo, é possível calcular o balanço de emissões do país devido à influência das transações inter-regionais. Entretanto, não é suficiente para se verificar a PHH, é necessário, para além do balanço de emissões, tirar o saldo com o balanço de emissões evitadas por conta das importações (*Emissions Avoided by the Imports, EAI*) da região s provenientes da região r, que é dado por:

$$EAI^{sr} = F^s L^{ss} T^{rs} = F^s L^{ss} T f^{rs} + F^s L^{ss} T i^{rs} + F^s L^{ss} T g^{rs} \quad (4.15)$$

A equação reflete as emissões do país s evitadas pelas importações do país r. Assim, o saldo (*Balance of avoided emissions*) é:

$$\begin{aligned} BAE^{sr} &= (EEX^{sr} - EAI^{sr}) + (EEX^{rs} - EAI^{rs}) \\ &= \underbrace{(F^s L^{ss} - F^r L^{rr}) T f^{sr} + (F^s L^{ss} - F^r L^{rr}) T i^{sr} + (F^s L^{ss} - F^r L_T^{rr}) g^{sr}}_{(4.16)} \\ &+ \underbrace{(F^s L^{ss} - F^r L^{rr}) T f^{rs} + (F^s L^{ss} - F^r L^{rr}) T i^{rs} + (F^s L^{ss} - F^r L^{rr}) T g^{rs}} \end{aligned}$$

Em que a primeira parte explica a PHH sobre a ótica a estrutura de produção e intensidade de carbono devido às exportações do país s para o país r e a segunda sobre a ótica das importações do país s provenientes do país r. Assim sendo, um BAE^{sr} positivo significa que a influência da demanda do país r pelo país s favorece um balanço em que a região s mais emite CO₂, por conta das exportações demandada do país r; do que tem suas emissões evitadas, por conta das suas importações provenientes mesmo que indiretamente, do país r.

Algumas considerações sobre a metodologia e a base de dados são necessárias para o entendimento do presente estudo. Foi utilizada uma base de dados pouco explorada em comparação às bases mais conhecidas de insumo-produto multirregional (WIOD EORA, OCDE). A mesma se propõe a ser mais extensa tanto em termos setoriais (com 160 setores originalmente), quanto de coeficientes ambientais. Possibilitando uma série de estudos a respeito da própria hipótese do paraíso de poluição.

Contudo, por se tratar de uma metodologia global, onde mesmo as relações bilaterais os outros países são levados em consideração (através das TGs), algumas desagregações podem gerar lacunas e inconsistências nos resultados. Portanto, houve uma agregação setorial.

No que diz respeito a metodologia, observa-se também algumas limitações por ser global. Alguns setores de suma importância nacionalmente, mas que não apresentam tanta relevância internacional, como o setor de eletricidade, correm o risco de apresentar resultados inconsistentes, sendo necessário o seu descarte por vezes.

5 RESULTADOS

Essa seção propõe apresentar e discutir os resultados do presente estudo acerca das emissões de CO₂ e sua distribuição na cadeia global dado o caso brasileiro. É preciso, porém, levar também em conta as mudanças estruturais ocorridas durante esse período de duas décadas no país de análise e no restante do mundo, uma vez que a fragmentação produtiva se faz cada vez mais presente (Wang, *et al*, 2017; Harvey. D, 1992).

Para facilitar a análise do caso brasileiro é preciso, portanto, apresentar um panorama geral das emissões globais. As tabelas 1 e 2 descrevem, portanto, as distribuições de emissões de CO₂ em 2002 e em 2022, respectivamente, tanto sob a ótica da exportação (ou seja, o quanto foi emitido internamente devido às demandas externas), quanto sob a ótica das importações (o quanto que foi emitido externamente devido às demandas internas). As emissões estão decompostas nos três tipos trabalhados na metodologia: transações de bens finais (TF), transações de bens intermediários (TI) e transações ligadas à cadeia global (TG).

Tabela 2 – Emissões globais de C02 em 2002 (em milhões de toneladas.)

| | Exportações | | | | Importações | | | | Balanco de emissões. | | | |
|--------|-------------|--------|--------|---------|-------------|--------|--------|---------|----------------------|--------|--------|---------|
| | TF | TI | TG | TOTAL | TF | TI | TG | TOTAL | TF | TI | TG | TOTAL |
| Brasil | 9,95 | 14,09 | 8,06 | 32,09 | 7,93 | 12,59 | 5,33 | 25,86 | 2,01 | 1,49 | 2,73 | 6,23 |
| UE | 234,94 | 204,25 | 98,23 | 537,41 | 295,01 | 301,22 | 153,05 | 749,28 | -60,08 | -96,97 | -54,82 | -211,87 |
| EUA | 66,77 | 55,86 | 33,16 | 155,80 | 80,09 | 53,23 | 35,95 | 169,27 | -13,31 | 2,63 | -2,79 | -13,47 |
| China | 58,01 | 41,96 | 28,70 | 128,68 | 18,56 | 33,26 | 28,05 | 79,87 | 39,45 | 8,70 | 0,66 | 48,81 |
| Índia | 21,81 | 18,19 | 11,12 | 51,12 | 10,48 | 22,16 | 1,33 | 33,97 | 11,33 | -3,97 | 9,79 | 17,15 |
| Rússia | 43,31 | 43,56 | 35,12 | 121,99 | 12,92 | 12,77 | 3,99 | 29,67 | 30,39 | 30,79 | 31,14 | 92,32 |
| RM | 253,38 | 304,50 | 164,10 | 721,98 | 263,18 | 247,17 | 149,11 | 661,15 | -9,80 | 57,33 | 14,99 | 60,83 |
| Total | 688,17 | 682,40 | 378,51 | 1749,08 | 688,17 | 682,40 | 378,51 | 1749,08 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Fonte: Resultados da pesquisa.

É importante ressaltar novamente que as agregações, tanto do bloco da União Europeia (com 27 países, com a grã-bretanha inclusa), quanto o bloco do "Resto do Mundo" foram feitas posteriormente aos cálculos para que as relações entre países do mesmo bloco também possam ser contabilizadas. Ou seja, é preciso estar ciente de que os resultados não apresentam os blocos como unidades, e sim como um somatório de cada país que os compõem.

Nota-se que, assim como a China, Índia e Rússia, o Brasil apresenta um balanço de emissões acima de zero. O que significa que tais países, em 2002, mais poluíram intermente por conta da demanda externa do que causaram poluição em outros países dado suas demandas internas, dando indícios da confirmação Hipótese do Paraíso de Poluição; ao contrário da União Europeia e dos Estados Unidos, que apresentam saldos negativos, ou seja, apresentando um impacto maior para as emissões através de suas demandas internacionais.

Quando se trata do tipo de transação, a maior parte das emissões se concentrou nas transações de bens intermediários no caso brasileiro (14,09 miT), ao contrário da média internacional, que apresenta maior concentração de emissões nas transações diretas de bens finais em 2002. Tal fato está evidentemente relacionado ao fato do Brasil ser um país exportador de bens não finais. Contudo, vale ressaltar que as emissões devido às transações de bens relacionados à cadeia global era de apenas 8,06 miT. Cenário que se altera bruscamente ao ser exposto o panorama de 2022.

Tabela 3 – Emissões globais de CO2 em 2022 (em milhões de toneladas).

| | Exportações | | | | Importações | | | | Balanço de emissões | | | |
|--------|-------------|--------|---------|---------|-------------|--------|---------|---------|---------------------|--------|---------|---------|
| | TF | TI | TG | TOTAL | TF | TI | TG | TOTAL | TF | TI | TG | TOTAL |
| Brasil | 81,53 | 3,90 | 64,27 | 149,71 | 26,69 | 0,16 | 60,89 | 87,75 | 54,84 | 3,74 | 3,38 | 61,96 |
| UE | 537,46 | 20,16 | 1182,19 | 1739,81 | 699,55 | 21,26 | 1391,67 | 2112,48 | -162,09 | -1,10 | -209,48 | -372,67 |
| EUA | 35,46 | 4,97 | 133,15 | 173,57 | 46,26 | 3,15 | 124,00 | 173,41 | -10,80 | 1,81 | 9,15 | 0,16 |
| China | 26,72 | 19,83 | 225,62 | 272,17 | 38,02 | 14,34 | 183,32 | 235,68 | -11,29 | 5,49 | 42,30 | 36,49 |
| Índia | 22,50 | 6,55 | 129,95 | 159,00 | 28,15 | 0,31 | 74,65 | 103,11 | -5,65 | 6,24 | 55,30 | 55,89 |
| Rússia | 29,14 | 6,16 | 118,86 | 154,15 | 34,51 | 0,01 | 73,45 | 107,97 | -5,37 | 6,14 | 45,40 | 46,18 |
| RM | 784,69 | 41,04 | 1169,75 | 1995,48 | 644,32 | 63,37 | 1115,80 | 1823,49 | 140,37 | -22,33 | 53,95 | 171,99 |
| Total | 1517,50 | 102,61 | 3023,78 | 4643,89 | 1517,50 | 102,61 | 3023,78 | 4643,89 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Fonte: Resultados da pesquisa.

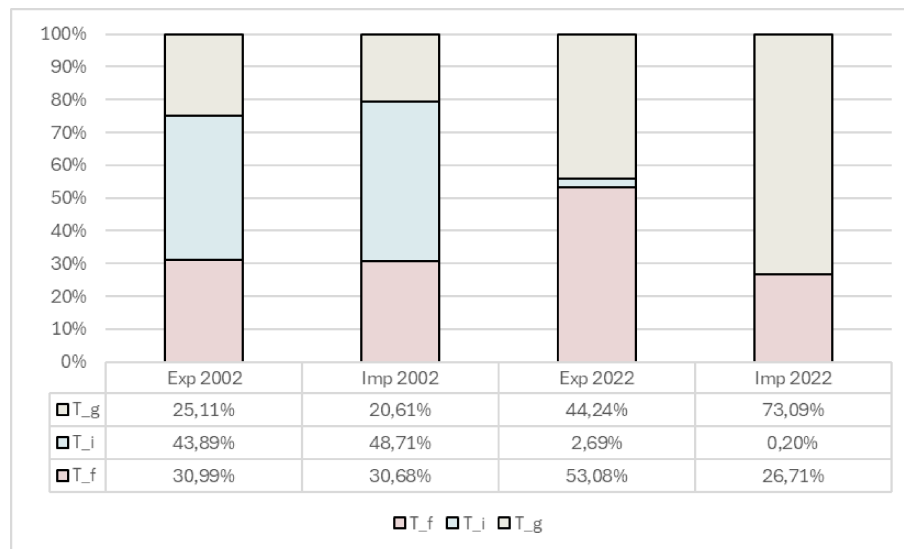
As emissões dado às transações de bens relacionadas à cadeia global (ou seja, à um processo de produção mais fragmentado internacionalmente que as transações de bens intermediários), passaram, em 2022, a corresponder pela maior parte das emissões globais, com um total de 3023,78 miT de CO₂ emitidos de um total de 4643,89 miT.

Um aumento de quase três vezes tanto das emissões importadas quanto das exportadas na União Europeia levanta um questionamento já relatado anteriormente (Stoddart *et al*, 2021) acerca da implementação de políticas que visem a redução das emissões de GEE. A Grã-Bretanha, por exemplo, (que para fins do presente estudo é considerada como parta da União Européia), chegou a zerar suas emissões internas de CO₂ (*Global Carbon Budget*,2022) , contudo a mesma também apresenta um aumento significativo nas emissões importadas. Ou seja, ressalta-se também a carência de políticas internacionais acerca do tema.

Ainda sobre o caso da União Europeia, um fator que pode ajudar a explicar tamanho aumento tanto nas emissões exportadas quanto importadas, são as mudanças no setor de energia dos países do leste causadas pela interrupção do fornecimento de gás provindo da Rússia em 2022.

No Brasil, contudo, foi um pouco diferente diferente. As emissões totais foram quase quatro vezes maiores frente a 2002, chegando a 149,71 miT , com as emissões devido às TGs correspondendo a 44,24% delas. Como ilustra a figura 2.

Figura 2 - Proporção das emissões de CO₂ no Brasil.



Entretanto, também houve um aumento da proporção de emissões devido às exportações de bens finais, ao passo em que as emissões devido às TIs diminuíram consideravelmente. Em termos de saldo, o Brasil passou a ter um balanço de 61,96 miT em 2022, fortificando a validação da Hipótese do Paraíso de Poluição. A Índia também apresentou um aumento no balanço, ao passo de que Rússia e China uma queda, mas não a ponto de deixarem de ser focos de indústrias mais poluentes.

Para aprofundar um pouco nas mudanças acerca do cenário brasileiro foi feito um LMDI:

Tabela 4 – Resultados da LMDI das emissões de CO₂ no Brasil devido às exportações para 2002-2022.

| F | L | TF | TI | TG | EEE |
|---------|--------|-------|--------|-------|-------|
| -166,00 | 156,25 | 17,90 | -11,19 | 59,07 | 56,02 |

Fonte: Resultados da pesquisa.

A desagregação indica os fatores capazes de alterar os resultados apresentados nas tabelas anteriores. São eles o coeficiente de emissões (F)¹, o coeficiente tecnológico² (L), e relações internacionais de transações de bens finais (TF), bens intermediários (TI) e bens ligados à cadeia global (TG). O LMDI indica que, apesar do aumento de emissões, houve um aumento na utilização de tecnologias limpas no Brasil, reduzindo o coeficiente de emissões e um aumento de emissões causada pelo coeficiente tecnológico (aumentando a produtividade e o produto). Constatam-se, também, os já esperados aumentos nas transações de bens finais e, sobretudo, dos bens relacionados à cadeia global, além da queda de transações de bens intermediários.

Ou seja, o principal fator responsável pelo aumento de emissões dado à demanda externa no Brasil, de 2002 para 2022, é a própria alteração na estrutura produtiva do país, bem como um aumento considerável nas TGs.

Com o panorama geral já estabelecido pode-se partir para uma análise bilateral do caso brasileiro acerca da hipótese do paraíso de poluição. Os resultados anteriores apontam que o Brasil mais emite internamente do que gera emissões fora quando se trata de comércio internacional. Agora cabe, portanto, analisar as principais relações comerciais do país.

¹ Associado a utilização de tecnologias mais limpas.

² A inversa de Leontief, ou seja, relacionado à produtividade para se produzir uma unidade de produto.

Tabela 5 – Emissões de CO2 em 2002 devido ao Brasil (em milhões de toneladas).

| | Exportações | | | | Importações | | | | Balanço de emissões. | | | |
|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|----------------------|-------------|-------------|-------------|
| | TF | TI | TG | TOTAL | TF | TI | TG | TOTAL | TF | TI | TG | TOTAL |
| UE | 2,13 | 3,41 | 1,64 | 7,18 | 1,74 | 1,01 | 0,53 | 3,28 | 0,39 | 2,40 | 1,11 | 3,90 |
| EUA | 2,72 | 1,49 | 0,69 | 4,90 | 1,12 | 0,86 | 0,48 | 2,45 | 1,60 | 0,63 | 0,21 | 2,44 |
| CN | 0,15 | 0,63 | 0,76 | 1,54 | 0,47 | 0,70 | 0,26 | 1,43 | -0,31 | -0,07 | 0,50 | 0,11 |
| IN | 0,10 | 0,38 | 0,01 | 0,50 | 0,45 | 3,69 | 1,97 | 6,10 | -0,35 | -3,31 | -1,95 | -5,61 |
| RU | 0,19 | 0,04 | 0,02 | 0,25 | 0,22 | 0,45 | 0,11 | 0,79 | -0,03 | -0,41 | -0,09 | -0,54 |
| RM | 4,64 | 8,14 | 4,94 | 17,72 | 3,93 | 5,89 | 1,98 | 11,80 | 0,71 | 2,25 | 2,95 | 5,93 |
| TOTAL | 9,95 | 14,09 | 8,06 | 32,09 | 7,93 | 12,59 | 5,33 | 25,86 | 2,01 | 1,49 | 2,73 | 6,23 |

Fonte: Resultados da pesquisa.

Em 2002, o principal demandante das emissões brasileiras, fora as agregações da União Europeia e do Resto do Mundo, foram os Estados Unidos, demandando ao todo 4,90miT, sendo a maior parte através das transações de bens finais (2,72miT). Dessa relação, destacam-se que os setores de "Outros minerais não-metálicos", "Coque, petróleo refinado e combustível nuclear" e "Mineração" como os principais emissores se tratando das exportações de bens finais para os Estados Unidos, com 0,83miT, 0,52miT e 0,36miT respectivamente.

O Brasil apresentou um saldo positivo na maior parte das suas relações comerciais, exceto ao se tratar de Índia e Rússia, seguindo a tendência apresentada anteriormente a ter uma relação de paraíso de poluição sobretudo com União Europeia e Estados Unidos.

Tabela 6 – Emissões de CO2 em 2022 devido ao Brasil (em milhões de toneladas).

| | Exportações | | | | Importações | | | | Balanco. | | | |
|--------|-------------|------|-------|--------|-------------|------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|
| | TF | TI | TG | TOTAL | TF | TI | TG | TOTAL | TF | TI | TG | TOTAL |
| UE | 33,12 | 0,12 | 20,21 | 53,45 | 3,66 | 0,02 | 16,93 | 20,61 | 29,46 | 0,10 | 3,28 | 32,84 |
| EUA | 1,75 | 0,06 | 3,61 | 5,42 | 0,40 | 0,02 | 5,49 | 5,90 | 1,35 | 0,04 | -1,87 | -0,48 |
| China | 2,55 | 1,19 | 5,00 | 8,74 | 0,29 | 0,07 | 5,34 | 5,71 | 2,26 | 1,12 | -0,34 | 3,04 |
| Índia | 0,00 | 0,00 | 1,91 | 1,91 | 0,08 | 0,00 | 2,21 | 2,29 | -0,08 | 0,00 | -0,30 | -0,38 |
| Rússia | 2,55 | 0,00 | 1,40 | 3,95 | 0,49 | 0,01 | 2,16 | 2,65 | 2,06 | -0,01 | -0,75 | 1,30 |
| RM | 37,14 | 2,53 | 32,13 | 71,80 | 17,33 | 0,05 | 28,77 | 46,15 | 19,81 | 2,48 | 3,36 | 25,67 |
| TOTAL | 77,11 | 3,90 | 64,27 | 145,28 | 22,25 | 0,16 | 60,89 | 83,31 | 54,86 | 3,74 | 3,38 | 61,98 |

Fonte: Resultados da pesquisa.

Em 2022, todas as principais relações bilaterais do país passaram a emitir mais, tanto sob a ótica das exportações quanto das importações. Contudo, o Brasil deixou de apresentar uma relação de paraíso de poluição com os EUA, uma vez que importa-se mais via transações ligadas à cadeia global. E o principal país demandante das emissões brasileiras passa a ser a China, com 8,74miT de CO₂ em solo brasileiro devido, sobretudo, também às transações de bens relacionados à cadeia global (5,42miT).

Entretanto, vale ressaltar que os resultados para a relação Brasil-China apresentaram algumas superestimativas acerca das emissões de CO₂ das TGs nos setores de agricultura, mineração e petróleo refinado³, portanto foram necessários os descartes dos mesmos no tangente à essa relação. Os resultados das emissões devido às TGs apresentados na relação com a China na tabela 6 estão subestimados por não levar tais setores (os principais da economia brasileira) em consideração.

Se tratando dos balanços de emissões, tanto em 2002 quanto em 2022 foram apresentados casos onde se sustenta a hipótese do paraíso de poluição, ou seja, devido ao posicionamento do Brasil em suas relações exteriores, o país se torna um "fornecedor" de CO₂ mediante às demandas externas. Contudo, como destacado por Wang *et al.*,(2017), é necessário fazer as devidas ponderações para poder afirmar convictamente que a hipótese se sustenta, pois é preciso levar em conta as especificidades de cada país.

É necessário considerar as emissões evitadas pelas importações dos países. Um conceito hipotético que consiste em imaginar o tanto que se geraria a mais de poluição caso os bens importados fossem produzidos internamente. A partir da ideia de emissões evitadas, então, pode-se construir o Balanço de Emissões evitadas, que nada mais é que o Balanço de Emissões normal, subtraído das emissões evitadas de ambos os lados das relações de comércio.

³ Possivelmente pela metodologia cíclica das emissões de TGs, com a relação Brasil-China acontecendo em diversas etapas.

Tabela 7 – Balanço de emissões evitadas.

| | 2002 | | | | 2022 | | | |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | TF | TI | TG | Total | TF | TI | TG | Total |
| UE | -3,54 | -1,50 | -1,37 | -6,41 | 29,86 | 0,00 | -2,81 | 27,05 |
| EUA | -3,97 | -0,93 | -0,65 | -5,55 | 1,41 | 0,03 | 0,15 | 1,59 |
| China | 0,07 | -1,40 | -1,53 | -2,86 | 4,20 | -1,30 | -2,01 | 0,89 |
| Índia | -0,12 | -0,72 | 0,20 | -0,64 | -0,06 | 0,00 | -0,96 | -1,02 |
| Rússia | -0,44 | 0,13 | 0,03 | -0,28 | 2,96 | 0,00 | -0,44 | 2,52 |
| RM | 7,67 | 3,34 | 3,19 | 14,20 | 26,93 | 0,22 | 4,39 | 31,53 |
| Total | -0,33 | -1,07 | -0,13 | -1,53 | 65,29 | -1,05 | -1,69 | 62,56 |

Fonte: Resultados da pesquisa.

Analisando o BAE, percebe-se que em 2002, apesar do Balanço de Emissões ser positivo, o Brasil não poderia ser considerado um paraíso de poluição por completo, uma vez que apresenta um BAE negativo, inclusive ao se tratar de sua relação com a União Europeia e com os EUA. Ou seja, tais relações bilaterais, bem como as relações internacionais do Brasil como um todo, contribuíam para uma menor emissão de CO₂, partindo-se do princípio de que, se os bens trocados fossem produzidos nos seus respectivos países demandantes, haveria, ao todo, mais emissão de CO₂. Tal resultado dá indícios de que o comércio internacional seria benéfico para as reduções de emissões.

Diferentemente de 2022, quando quase todas as relações bilaterais, exceto para com a Índia, apresentaram saldos de emissões maior que zero, evidenciando assim a localização do Brasil como paraíso de poluidor em cada uma delas, bem como no todo.

Por fim, se tratando de uma análise setorial do caso brasileiro, a seguinte tabela 8 apresenta os principais setores em termos de emissões de CO₂ em 2002 e 2022.

Tabela 8 – Emissões de setoriais de CO2 dado às demandas externas (em miT)

| | 2002 | | | | 2022 | | | |
|-------------------------------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|
| | TF | TI | TG | Total | TF | TI | TG | Total |
| Metais básicos | 1,44 | 3,39 | 3,47 | 8,30 | 4,05 | 0,82 | 9,99 | 14,86 |
| Mineiração | 1,35 | 2,00 | 1,33 | 4,68 | 2,78 | 1,39 | 7,73 | 11,90 |
| Agricultura | 0,53 | 0,84 | 0,33 | 1,70 | 3,73 | 0,56 | 6,84 | 11,12 |
| Coque | 1,10 | 0,72 | 0,44 | 2,26 | 2,33 | 0,31 | 6,63 | 9,27 |
| Outros minerais não-metálicos | 2,33 | 1,42 | 0,83 | 4,58 | 1,40 | 0,11 | 4,41 | 5,92 |

Fonte: Resultados da pesquisa.

O setor de metais básicos foi o maior exportador de CO₂ do Brasil tanto em 2002 quanto em 2022, sobretudo devido às transferências relacionadas à cadeia global. Neste setor estão atividades como produção de alumínio, produção de ferro, aço e os primeiros produtos elaborados a partir do minério de ferro, o que explica, em partes, sua alta proporção de emissões relacionadas às transações globais. O principal demandante direto (através das transações finais) em 2022 foi a Grã-Bretanha, responsável pelas emissões de 0,7miT de CO₂ do setor. Já através das transações de bens intermediários a principal demandante foi a China, responsável por 0,17miT. Tratando-se das TGs, China e União Europeia foram os principais demandantes das emissões de tal setor, com 0,30miT e 0,82miT de CO₂ gerados devido suas respectivas demandas globais.

No setor de mineração, segundo maior emissor tanto em 2002 quanto em 2022, encontra-se, entre outras atividades, a extração de petróleo cru e serviços relacionados a mesma, uma das principais atividades econômicas do Brasil historicamente ao lado da agricultura, terceiro maior emissor de CO₂ dado a queima de combustíveis fósseis em 2022.

Nota-se, sobretudo, que os cinco principais setores responsáveis pelas emissões de CO₂ dado às queimas de combustíveis fósseis no Brasil, devido à demanda externa, mesmo em 2002 já possuíam uma alta relação com a base da cadeia produtiva global, por se tratarem de setores cuja comercialização é de matérias primas ou produtos pouco elaborados, que são exportados geralmente para sofrerem transformações.

6 Conclusão

Foram analisadas, no presente trabalho, as relações do Brasil com seus principais parceiros comerciais, bem como as relações internacionais como um todo, no que diz respeito às emissões de CO₂ no comércio internacional do país. Ressalta-se, também, que resultados de igual significância foram encontrados ao se tratar das emissões de gases do efeito estufa. Os mesmos podem ser acessados no anexo¹

Foi possível constatar que houve uma mudança no panorama internacional, com a produção estando mais fragmentada globalmente em 2022 com relação a 2002, dado o aumento proporcional das emissões ligadas às TGs (de 21,64 % em 2002 para 64,69 % em 2022), também constatado com no caso brasileiro, sobretudo na análise setorial, em que os principais setores emissores de CO₂ dado à queima de combustíveis fósseis estão relacionados à base da cadeia produtiva.

O principal objetivo da pesquisa, averiguar se o caso brasileiro se trata ou não, de um paraíso de poluição, também foi alcançado. Sob a ótica do balanço de emissões brutas, em ambos os anos analisados o Brasil apresentou saldos maiores que zero nos três tipos de transações de bens: finais (2,01miT em 2002 e 54,84miT em 2022), intermediários (1,49miT e 3,74miT) e relacionados à cadeia global (2,73miT e 3,38miT). Observa-se, ainda, um aumento dos mesmos no ano de 2022, agravando a situação para o cenário brasileiro.

Sob a ótica do balanço de emissões evitadas, o Brasil apresentou saldo negativo em 2002 (-0,33miT). Ou seja, na época, as transações internacionais do país poderiam ser vistas como benéficas para um saldo global de emissões, uma vez poluía-se menos do que o cenário hipotético onde cada país produziria aquilo que consume. Contudo, em 2022, mesmo sob essa ótica o Brasil apresenta um cenário de paraíso de poluição, com as transações gerando mais CO₂ do que o cenário hipotético dado o saldo positivo de 62,56miT. Constatam-se, portanto indícios para a sustentação da hipótese do paraíso de poluição no caso brasileiro.

Contudo, é necessário fazer algumas considerações. Zhang *et al*, 2017 apresentam resultado distinto para o caso brasileiro em 2009 sob a mesma metodologia (apesar de diferentes bases de dados). Com um resultado tanto de BEE quanto de BAE negativos para o Brasil. É possível que haja, portanto, altas variações em uma possível série histórica de tais indicadores.

Sendo assim, o estudo propõe contribuir para a discussão acerca da hipótese do paraíso de poluição, tanto em relação à fragmentação produtiva quanto para o caso brasileiro, pouco abordado na literatura. Além de também explorar a base de dados da

¹ disponibilizado em: <https://drive.google.com/drive/folders/1-0-en7v5N5siEF4Y0ZdO5VLjyULM5eS?usp=sharing>

Exiobase3, em contrapartida da WIOD e EORA, comumente utilizadas.

7 REFERÊNCIAS

- ABDOULI, Mohamed; HAMMAMI, Sami. Economic growth, FDI inflows and their impact on the environment: an empirical study for the MENA countries. *Quality & Quantity*, v. 51, n. 1, p. 121-146, 2017.
- ANWAR, Muhammad Azfar et al. Global perspectives on environmental kuznets curve: A bibliometric review. *Gondwana Research*, v. 103, p. 135-145, 2022.
- ARAÚJO, Inácio Fernandes et al. European union membership and CO2 emissions: A structural decomposition analysis. ***Structural Change and Economic Dynamics***, v. 55, p. 190-203, 2020.
- ARAÚJO, Inácio Fernandes; PEROBELLI, Fernando Salgueiro; FARIA, Weslem Rodrigues. Regional and global patterns of participation in value chains: Evidence from Brazil. *International Economics*, v. 165, p. 154-171, 2021.
- ARTO, Iñaki; DIETZENBACHER, Erik. Drivers of the growth in global greenhouse gas emissions. ***Environmental science & technology***, v. 48, n. 10, p. 5388-5394, 2014.
- BASHIR, Muhammad Farhan. Discovering the evolution of Pollution Haven Hypothesis: A literature review and future research agenda. ***Environmental Science and Pollution Research***, v. 29, n. 32, p. 48210-48232, 2022.
- BEKUN, Festus Victor et al. Revisiting the pollution haven hypothesis within the context of the environmental Kuznets curve. *International Journal of Energy Sector Management*, 2023.
- BIRDSALL, Nancy; WHEELER, David. Trade policy and industrial pollution in Latin America: where are the pollution havens?. *The Journal of Environment & Development*, v. 2, n. 1, p. 137-149, 1993.
- BRONER, Fernando; BUSTOS, Paula; CARVALHO, Vasco M. Sources of comparative advantage in polluting industries. *National Bureau of Economic Research*, 2012.
- CAI, Xiang et al. Will developing countries become pollution havens for developed countries? An empirical investigation in the Belt and Road. *Journal of Cleaner Production*, v. 198, p. 624-632, 2018.
- CEPAL, N. U. et al. OCDE-Avaliações de Desempenho Ambiental: Brasil 2015. 2016.
- CHANGE, IPCC Climate. The IPCC Impacts Assessment. ***IPCC: Paris, France***, 1990.
- CHAUDHRY, Imran Sharif et al. Moderating role of institutional quality in validation of pollution haven hypothesis in BRICS: a new evidence by using DCCE approach. *Environmental Science and Pollution Research*, p. 1-10, 2022.

- COLE, Matthew A.; ELLIOTT, Robert JR. FDI and the capital intensity of “dirty” sectors: a missing piece of the pollution haven puzzle. *Review of Development Economics*, v. 9, n. 4, p. 530-548, 2005.
- COLE, Matthew A.; ELLIOTT, Robert JR; FREDRIKSSON, Per G. Endogenous pollution havens: Does FDI influence environmental regulations?. *Scandinavian Journal of Economics*, v. 108, n. 1, p. 157-178, 2006.
- DE FREITAS, Luciano Charlita; KANEKO, Shinji. Decomposition of CO2 emissions change from energy consumption in Brazil: challenges and policy implications. **Energy Policy**, v. 39, n. 3, p. 1495-1504, 2011.
- DEAN, Judith M.; LOVELY, Mary E.; WANG, Hua. Are foreign investors attracted to weak environmental regulations? Evaluating the evidence from China. *Journal of development economics*, v. 90, n. 1, p. 1-13, 2009.
- DIETZENBACHER, Erik; MUKHOPADHYAY, Kakali. An empirical examination of the pollution haven hypothesis for India: towards a green Leontief paradox?. *Environmental and Resource Economics*, v. 36, p. 427-449, 2007.
- DUAN, Yuwan; JIANG, Xuemei. Pollution haven or pollution halo? A Re-evaluation on the role of multinational enterprises in global CO2 emissions. *Energy Economics*, v. 97, p. 105181, 2021.
- DUAN, Yuwan et al. Environmental regulations and international trade: A quantitative economic analysis of world pollution emissions. *Journal of Public Economics*, v. 203, p. 104521, 2021.
- DUAN, Yuwan; JI, Ting; YU, Tuotuo. Reassessing pollution haven effect in global value chains. *Journal of Cleaner Production*, v. 284, p. 124705, 2021.
- EPE (Empresa de Pesquisa Energética), 2023. Balanço Energético Nacional 2023. Empresa de Pesquisa Energética. EPE, Rio de Janeiro.
- ESKELAND, Gunnar S.; HARRISON, Ann E. Moving to greener pastures? Multinationals and the pollution haven hypothesis. *Journal of development economics*, v. 70, n. 1, p. 1-23, 2003.
- ESMAEILI, Parisa; LORENTE, Daniel Balsalobre; ANWAR, Ahsan. Revisiting the environmental Kuznetz curve and pollution haven hypothesis in N-11 economies: Fresh evidence from panel quantile regression. *Environmental Research*, v. 228, p. 115844, 2023.
- EXIOBASE 3 (3.8.2) [Data set]. Zenodo. Staddler *et al*(2021) <https://doi.org/10.5281/zenodo.55895>
- FRIEDLINGSTEIN, Pierre et al. Global carbon budget 2022. **Earth System Science Data Discussions**, v. 2022, p. 1-159, 2022.
- GARSOUS, Grégoire; KOZLUK, Tomasz. Foreign direct investment and the pollution

haven hypothesis: evidence from listed firms. 2017.

GROSSMAN, Gene M.; KRUEGER, A. B. Pollution and growth: what do we know?. 1993.

GROSSMAN, Gene M.; KRUEGER, Alan B. Environmental impacts of a North American free trade agreement. 1991.

GUILHOTO, Joaquim Martins; WEBB, Colin; YAMANO, Norihiko. Guide to OECD TiVA Indicators. 2022.

HARVEY, David. Condição pós-moderna: uma pesquisa sobre as origens da mudança cultural. Edições Loyola, 1992.

HICKS, John R. Marginal productivity and the principle of variation. *Economica*, n. 35, p. 79-88, 1932.

HE, Jie. Pollution haven hypothesis and environmental impacts of foreign direct investment: The case of industrial emission of sulfur dioxide (SO₂) in Chinese provinces. *Ecological economics*, v. 60, n. 1, p. 228-245, 2006.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Indicadores quantitativos da OCDE e o Brasil (Publicação Preliminar). 2023.

IPCC, A. IPCC Fifth Assessment Report—Synthesis Report. **IPPC Rome, Italy**, 2014.

KRUGMAN, Paul. First nature, second nature, and metropolitan location. *Journal of regional science*, v. 33, n. 2, p. 129-144, 1993.

KUZNETS, Simon. **ECONOMICS GROWTH AND INCOME EQUALITY**. 1995.

LEONTIEF, Wassily W. The structure of American economy, 1919-1929: An empirical application of equilibrium analysis. **(No Title)**, 1951.

LEONTIEF, Wassily. National income, economic structure, and environmental externalities. In: *The measurement of economic and social performance*. NBER, 1973. p. 565-576.

LÓPEZ, Luis Antonio; ARCE, Guadalupe; ZAFRILLA, Jorge Enrique. Parcelling virtual carbon in the pollution haven hypothesis. *Energy Economics*, v. 39, p. 177-186, 2013.

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

MALTHUS, Thomas Robert. An essay on the principle of population (1798). *The Works of Thomas Robert Malthus*, London, Pickering & Chatto Publishers, v. 1, p. 1-139, 1986.

MARX, Karl. O Capital-Livro 1: Crítica da economia política. Livro 1: O processo de

- produção do capital. Boitempo Editorial, 2015.
- MCGUIRE, Martin C. Regulation, factor rewards, and international trade. *Journal of public economics*, v. 17, n. 3, p. 335-354, 1982.
- METZ, Bert. The legacy of the Kyoto Protocol: a view from the policy world. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change**, v. 4, n. 3, p. 151-158, 2013.
- MILLER, Ronald E.; BLAIR, Peter D. Input-output analysis: foundations and extensions. Cambridge university press, 2009.
- MOURA, Adriana Maria Magalhães de. Trajetória da política ambiental federal no Brasil. 2016.
- MYRDAL, Gunnar; SITO HANG, Paul. Economic theory and under-developed regions. 1957.
- OECD, Trade in Embodied CO2 Database (TECO2). (2021 ed.) Acessado em: 28/08/2023 Disponível em: https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=IO_GHG_2021
- OUR WORLD IN DATA. Acessado em: 21/10/2023 Disponível em: <https://ourworldindata.org>
- OZKAN, Oktay et al. Reconsidering the environmental Kuznets curve, pollution haven, and pollution halo hypotheses with carbon efficiency in China: A dynamic ARDL simulations approach. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 30, n. 26, p. 68163-68176, 2023.
- PADHAN, Lakshmana; BHAT, Savita. Interrelationship between trade and environment: a bibliometric analysis of published articles from the last two decades. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 30, n. 7, p. 17051-17075, 2023.
- POLLONI-SILVA, Eduardo et al. Environmental kuznets curve and the pollution-halo/haven hypotheses: An investigation in Brazilian Municipalities. *Sustainability*, v. 13, n. 8, p. 4114, 2021.
- PORTER, M. E. America's Green Strategy. *Scientific American*, v. 264, n. 4, p. 96, april, 1991.
- PORTER, M. E.; van der LINDE, C. Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship. *Journal of Economic Perspectives*, v. 9, n. 4, p. 97-118, 1995.
- SAPKOTA, Pratikshya; BASTOLA, Umesh. Foreign direct investment, income, and environmental pollution in developing countries: Panel data analysis of Latin America. *Energy Economics*, v. 64, p. 206-212, 2017.
- SHAHBAZ, Muhammad; BALSALOBRE-LORENTE, Daniel; SINHA, Avik. Foreign direct Investment-CO2 emissions nexus in Middle East and North African countries: Importance of biomass energy consumption. *Journal of cleaner production*, v. 217, p. 603-614, 2019.

- SMITH, Adam. The wealth of nations [1776]. na, 1937.
- SOLARIN, Sakiru Adebola et al. Investigating the pollution haven hypothesis in Ghana: an empirical investigation. *Energy*, v. 124, p. 706-719, 2017.
- SOUZA, A. M. et al. Estrutura produtiva do Brasil, Rússia, Índia e China (BRIC) e seus impactos nas emissões de dióxido de carbono (CO₂). *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 34, p. 25-48, 2015.
- STODDARD, Isak et al. Three decades of climate mitigation: why haven't we bent the global emissions curve?. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 46, p. 653-689, 2021.
- TAYLOR, Lance. The world bank and the environment: the world development report 1992. *World Development*, v. 21, n. 5, p. 869-881, 1993.
- VALE, Vinicius A.; PEROBELLI, Fernando S.; CHIMELI, Ariaster B. International trade, pollution, and economic structure: evidence on CO₂ emissions for the North and the South. **Economic Systems Research**, v. 30, n. 1, p. 1-17, 2017.
- WANG, Zhaojing et al. Decomposition of the US CO₂ emissions and its mitigation potential: An aggregate and sectoral analysis. **Energy Policy**, v. 147, p. 111925, 2020.
- WANG, Xueyuan; ZHANG, Chunting; ZHANG, Zhijian. Pollution haven or porter? The impact of environmental regulation on location choices of pollution-intensive firms in China. *Journal of environmental management*, v. 248, p. 109248, 2019.
- XU, Yan; DIETZENBACHER, Erik. A structural decomposition analysis of the emissions embodied in trade. **Ecological Economics**, v. 101, p. 10-20, 2014.
- YILANCI, Veli; BOZOKLU, Seref; GORUS, Muhammed Sehid. Are BRICS countries pollution havens? Evidence from a bootstrap ARDL bounds testing approach with a Fourier function. *Sustainable Cities and Society*, v. 55, p. 102035, 2020.
- YAMANO, Norihiko; GUILHOTO, Joaquim. CO₂ emissions embodied in international trade and domestic final demand: Methodology and results using the OECD Inter-Country Input-Output Database. 2020.
- YANG, Mingyu et al. Circular economy strategies for combating climate change and other environmental issues. **Environmental Chemistry Letters**, v. 21, n. 1, p. 55-80, 2023.
- ZHANG, Ke; WANG, Xingwei. Pollution haven hypothesis of global CO₂, SO₂, NO_x—evidence from 43 economies and 56 sectors. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 18, n. 12, p. 6552, 2021.
- ZHANG, Zengkai; ZHU, Kunfu; HEWINGS, Geoffrey JD. A multi-regional input-output analysis of the pollution haven hypothesis from the perspective of global production fragmentation. *Energy Economics*, v. 64, p. 13-23, 2017.