



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CAMPUS A. C. SIMÕES  
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE  
CURSO CIÊNCIAS ECONÔMICAS

JOSÉ HENRIQUE OLIVEIRA COSTA

**ANÁLISES SOBRE A RELAÇÃO ENTRE CADEIAS GLOBAIS DE VALOR E  
PEGADA ECOLÓGICA NO PERÍODO DE 2005 A 2018**

MACEIÓ, AL  
2024

JOSÉ HENRIQUE OLIVEIRA COSTA

**ANÁLISES SOBRE A RELAÇÃO ENTRE CADEIAS GLOBAIS DE VALOR E  
PEGADA ECOLÓGICA NO PERÍODO DE 2005 A 2018**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharelado/Licenciatura em Ciências Econômicas.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Camila do Carmo Hermida.

Maceió, 2024

**Catálogo na Fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

**Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767**

C837a Costa, José Henrique Oliveira.

Análises sobre a relação entre cadeias globais de valor e pegada ecológica no período de 2005 a 2018 / José Henrique Oliveira Costa. – 2024.  
65 f. : il.

Orientadora: Camila do Carmo Hermida.

Monografia (Trabalho de Conclusão Curso em Ciências Econômicas: bacharelado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade. Maceió, 2024.

Bibliografia: f. 61-63.

Apêndices: f. 64-65.

1. Cadeias Globais de Valor. 2. Pegada ecológica. 3. Curva Ambiental de Kuznets (Economia). 4. Hipótese de paraíso poluidor. 5. Cluster k-means, Análise de. I. Título.

CDU: 33:504

JOSÉ HENRIQUE OLIVEIRA COSTA

**ANÁLISES SOBRE A RELAÇÃO ENTRE CADEIAS GLOBAIS DE VALOR E  
PEGADA ECOLÓGICA NO PERÍODO DE 2005 A 2018**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharelado/Licenciatura em Ciências Econômicas.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Camila do Carmo Hermida.

Maceió - AL, 25 de Janeiro de 2024

BANCA EXAMINADORA

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. CAMILA DO CARMO HERMIDA

UFAL

---

Prof. Dr. KEULER HISSA TEIXEIRA

UFAL

---

Prof. Dr. VERÔNICA NASCIMENTO BRITO ANTUNES

UFAL

## AGRADECIMENTOS

Como o término deste trabalho marca o fim do ciclo da minha tão sonhada graduação, me permitirei utilizar estes agradecimentos sem poupar espaço para as pessoas que tanto me ensinaram e contribuíram durante toda a vida até chegar a este momento.

Inicialmente agradeço à Andréa Machado e Juarez Costa pelo meu concebimento, pelo amor, pelas noites de sono perdidas, pelo alicerce educacional e o exemplo de que com coragem e trabalho duro conseguimos lograr nossos sonhos. Ainda no seio da família, sou grato a Jozailto Lima, aquele que não mede esforços para fazer com que busquemos nossas raízes, que insiste em ensinar a todos os seus sobrinhos a importância da literatura e me mostrar que quando viemos de uma família de trabalhadores, a educação é o único caminho de salvação do nosso futuro.

Agradeço à Betty Rebaza, pessoa que, apesar de tão distante, foi responsável pelo pontapé inicial da vontade de ser e por demonstrar que é possível fazer o que queremos fazer.

Agradeço também à grande família que construí durante a adolescência e que nos últimos 10 anos foram responsáveis por me acolher, pelos abraços, por escutar ativamente minhas lamentações, por acompanhar meus passos, pelos choros, pelos conselhos, pela força nos projetos pessoais. Agradeço assim aos meus amigos: Camila, Jean, Paulo, Rogato, Eliza, Michelangelo, Kaline, Padilha, Kevyn, Coxxas, Matheus, Eduardo, Vangasse, e Arthur Medeiros.

À vida na universidade, sou grato pelo conhecimento e amadurecimento adquirido nesses anos. Tudo isso foi possibilitado pelos desafios e oportunidades dentro do curso de economia em uma universidade pública, gratuita e de qualidade. A isso deixo meu agradecimento ao PET Economia pela imersão dentro da vida acadêmica, ao Centro Acadêmico pela convivência mais estreita com o corpo docente e pelo PIBIC, por ser a fagulha pelo prazer de pesquisar. Toda essa experiência não seria possível sem a participação dos meus colegas Samuel, John, Letícia, Cayo, Tamires e Vinícius.

Aos que já me conhecem, sabem do sonho pela docência que me ocorre desde o fim do ensino médio, motivado pelo exemplo dos professores que tive durante o colégio e o pré-vestibular. Entretanto, no decorrer da graduação, aprendi que ser professor não é

preparar aula, cativar jovens e manter uma boa relação dentro de sala. Vai muito além disso. Ser professor também é respeitar o tempo dos processos de cada um, é entender a condição social, mental de cada aluno, é dar o espaço para o confronto de ideias e para que o outro erre, nem que para isso você precise de um auditório inteiro. Ser professor é também dar carona (risos). À este aprendizado agradeço aos meus formadores na figura de Cid Olival, Camila Hermida, Keuler Hissa e Ana Milani.

Por fim, gostaria de agradecer à pessoa que esteve comigo nesse último ano, fruto da vida na universidade e que provavelmente estará pelo resto da vida. A minha querida Olga eu sou grato por toda a confiança, torcida, carinho, apoio emocional nessa jornada de conclusão de curso, cedendo o espaço necessário para as minhas realizações, me aconselhando quando necessário, me abastecendo de amor e me ensinando com a beleza dos seus gestos.

Valeu, pessoal!

*“Afagar a Terra*

*Conhecer os desejos da terra*

*Cio da Terra, propícia estação*

*E fecundar o chão”*

(Milton Nascimento e Chico Buarque)

## RESUMO

Este estudo visa analisar, teórica e empiricamente, a importância do comércio global em relação à degradação ambiental. Utilizando análise de cluster k-means, examinou-se as trajetórias de 59 países entre 2005 e 2018, agrupando-os com base na variação média nas participações nas Cadeias Globais de Valor (CGVs) (TiVA OECD) e na Pegada Ecológica (PE) (*Ecological Footprint Network*). Os resultados revelaram uma relação direta entre a participação nas CGVs e a PE, especialmente em países desenvolvidos, sugerindo a existência de um 'paraíso poluidor'. Em contraste, países em desenvolvimento, ao intensificar sua participação nas CGVs, apresentaram resultados mistos quanto ao seu indicador de pegada ecológica, porém apresentando, majoritariamente, resultados maiores para a degradação ambiental, possivelmente devido à adoção de modelos de produção menos eficientes. Um segundo experimento, realizado em *GMM-System* a partir de dados em painel, confirmou essa relação e mostrou que o uso de energias renováveis reduz a pegada ecológica, enquanto o crescimento econômico está associado ao aumento da poluição, conforme a curva ambiental de Kuznets. Essas descobertas destacam a necessidade de políticas ambientais e econômicas integradas para lidar com os impactos do comércio global na degradação ambiental.

**Palavras Chave:** Cadeias globais de valor, Pegada Ecológica, Curva ambiental de Kuznets, “hipótese de paraíso poluidor”, *Cluster k-means*.

## ABSTRACT

This study aims to analyze, both theoretically and empirically, the significance of global trade in relation to environmental degradation. Using non-hierarchical k-means cluster analysis, the trajectories of 59 countries between 2005 and 2018 were examined, grouping them based on the average variation in participation in Global Value Chains (GVCs) (TiVA OECD) and Ecological Footprint (EF) (Ecological Footprint Network). The results indicated a direct relationship between participation in GVCs and EF, particularly in developed countries, suggesting the existence of a 'pollution haven.' In contrast, developing countries, as they intensified their participation in GVCs, showed mixed results in their ecological footprint indicator but predominantly exhibited higher environmental degradation, possibly due to the adoption of less efficient production models. A second experiment, conducted using System GMM with panel data, confirmed this relationship and demonstrated that the use of renewable energy reduces the ecological footprint, while economic growth is associated with increased pollution, in line with the Environmental Kuznets Curve. These findings underscore the need for integrated environmental and economic policies to address the impacts of global trade on environmental degradation.

**Keywords:** Global Value Chain Participation, Ecological Footprint, Kuznets Environmental Curve, Pollution Haven Hypothesis, K-means *Cluster* Analysis.

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	10
1. O COMÉRCIO GLOBAL E O MEIO AMBIENTE .....	14
1.1 O comércio global e as cadeias globais de valor .....	14
1.2 Estudos empíricos.....	23
2. ANÁLISE DESCRITIVA E ANÁLISE DE <i>CLUSTER</i> DO DESEMPENHO DOS PAÍSES NAS CGVS E DE SEUS ÍNDICES DE PEGADA ECOLÓGICA .....	28
2.1 Procedimentos metodológicos.....	28
2.1.1 <i>Indicadores e bases de dados</i> .....	28
2.1.2 <i>Análise de agrupamento k-means</i> .....	30
2.1 Resultados.....	32
3. TESTANDO HIPÓTESES AMBIENTAIS COM O COMÉRCIO GLOBAL A PARTIR DE MODELOS LONGITUDINAIS EM DADOS DE PAINEL.....	41
3.1 Metodologia de estimação .....	42
3.1.1 <i>Variáveis utilizadas</i> .....	42
3.1.2 <i>Procedimentos econométricos</i> .....	44
3.1.3 <i>Modelos auxiliares</i> .....	47
3.2 Resultados e discussão .....	48
3.2.1 <i>Análise primária</i> .....	48
3.2.2 <i>Estimações auxiliares</i> .....	52
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	58
REFERÊNCIAS .....	61
APÊNDICE .....	64

## INTRODUÇÃO

Pioneiro na formulação da dinâmica econômica cartesiana, Adam Smith, contribuiu com o pensamento econômico a partir da “Divisão do Trabalho”, cuja ideia consistiria nos ganhos de produtividade a partir da sistematização da produção industrial, com a qual resultaria na máxima especialização do indivíduo naquela etapa do trabalho. Smith, porém, não imaginaria que esta divisão se daria numa proporção em que rompesse as fronteiras das nações, fazendo com que o grau de especialização do trabalho se desse a nível nacional (SMITH, 1776 *apud*. HERMIDA, 2016).

Desde meados dos anos 80, o processo de adoção de abertura comercial pelas nações foi passo fundamental para a intensificação da fragmentação internacional da produção e da formação das Cadeias Globais de Valor (CGVs), observou-se um aumento considerável dos fluxos de comércio internacional de bens e serviços. Em 2011, mais de 2/3 do comércio internacional foi realizado por meio de CGVs e mais de 60% dos bens se tratava de intermediários, o que reflete a produção globalmente fragmentada (OECD, 2013; UNCTAD, OECD, WTO, 2013). Enquanto o PIB mundial cresceu 6,2% entre 1960 e 2014, o comércio mundial cresceu 17,2%, o que revela a crescente importância da globalização produtiva para as economias em todo mundo (OECD, 2015). De maneira geral, atualmente, o comércio internacional é visto como um importante canal para transferência de conhecimento e tecnologia e para a geração de receitas e emprego (que tendem a ser de maior remuneração, maior formalidade e qualidade do que os empregos voltados para atividades locais) (UNCTAD, OECD, WTO, 2013). Nesse sentido, a abertura comercial e, nas últimas décadas, a participação em CGVs têm sido apontadas como estratégias fundamentais para o desenvolvimento dos países, sobretudo, por parte dos organismos multinacionais, como em: OECD, 2015; UNCTAD, 2013; OECD, 2013; UNCTAD, OECD, WTO, 2013; UNIDO, 2018, dentre outros.

Entretanto, o pujante comércio internacional intensifica, para além de tudo, a produção de resíduos derivados do concebimento do produto, dos processos de logísticas e do pós-consumo, além da crescente demanda por produtos e insumos, incorrer no esgotamento de recursos naturais no médio-longo, em parte, essenciais para a manutenção da vida no planeta. Na forma gasosa, estes resíduos têm como principais componentes o CO<sub>2</sub> (74,3%), CH<sub>4</sub> (17,3%) e o NO<sub>2</sub> (6,5%), gases responsáveis pelo efeito estufa, o qual já contabiliza com o aumento de 1,01 °C em comparação à média global anterior à primeira revolução industrial (WRI, 2016; MetSul, 2022). As consequências do

aquecimento do planeta, o qual ano após ano quebra recordes de temperatura, variam em destruição de ecossistemas, extinção de espécies, aumento dos índices de catástrofes naturais de magnitudes inimagináveis, elevação do nível do mar dentre outros fenômenos climáticos já possíveis de identificar. Em decorrência disso, para as firmas internacionalizadas, são crescentes as pressões e demandas em vários aspectos para uma preocupação maior com os impactos do processo produtivo para o meio ambiente. A Agenda 2030 acordada pelos países-membros da Organização das Nações Unidas (ONU) em 2015 demonstra como as metas de desenvolvimento sustentável se tornaram imperativas para empresas globais e para aquelas que queiram participar de CGVs. Nesse sentido, uma das metas que tem sido amplamente discutida pelos organismos internacionais é a redução dos impactos do aquecimento global que têm efeitos deletérios sobre o meio ambiente e o bem-estar.

Como auxílio para a identificação dos fenômenos ocorridos, os pensadores da economia ecológica, corrente de pensamento que visa os recursos naturais como fator *sine qua non* para toda a economia, observaram a possibilidade de movimentos padrões designados tanto por nações como por empresas e desenvolveram instrumentos capazes de monitorar o desempenho das poluições. Inicialmente, a curva ambiental de Kuznets, elaborada por Grossman e Krueger (1991; 1995) identificou o comportamento que para as nações evoluírem economicamente é necessário elevação de emissão de poluentes, o que reflete no aumento da escala produtiva até que os ganhos econômicos sejam revertidos em pesquisa e inovação e este pico de poluição encontre seu ponto de viragem, representando a maior eficiência do uso dos recursos naturais.

Há também o esforço de saber o papel da liberalização do comércio neste desenvolvimento de maturidade tecnológica, voltada à sustentabilidade do ecossistema. A hipótese do paraíso poluidor (COPELAND e TAYLOR, 1994) indica que os países desenvolvidos, na realidade, podem se beneficiar da redução da poluição por um movimento de exportação da sua planta produtiva intensiva em poluição para países de médio e baixo desenvolvimento, motivados por frouxas legislações de cunho ambiental, sabotando também os índices de emissão desses países e a possibilidade do atingimento do ponto de viragem desses países. Entretanto, a “hipótese da auréola de poluição”, passa a responsabilizar os países desenvolvidos por acelerar o processo de inovação tecnológica dada a transferência de conhecimento advindo pelo investimento direto externo, o que, por sua vez, faria com que países de menor desenvolvimento atingissem seu ponto de virada mais cedo.

A pegada ecológica, indicador criado por Rees e Wackernagel (1990), demonstra o rastro dos resíduos emitidos pelos seres humanos dentro das áreas de pesca, florestal, agricultura, pecuária, construção civil e energética, medido em hectares globais por pessoa. No sentido contrário à pegada ecológica, a biocapacidade é capaz de inferir o metabolismo anual do planeta, ou seja, a capacidade do planeta de se autorregenerar, dada às áreas produtivas utilizando as mesmas unidades de medida e a subtração de um ano dos indicadores da biocapacidade pela pegada ecológica, demonstra o saldo ecológico do planeta. De acordo com a *Ecological Footprint Network* (2022), desde o ano de 1971 a humanidade tem déficits ecológicos crescentes, ou seja, passou a poluir mais do que o planeta pode aguentar.

Sendo assim, no seguinte movimento global de preservação ecológica, de modo que haja a manutenção ecológica tal qual conhecemos, busca-se responder: Qual o sentido que estão tomando os países dentro da produção sustentável, de acordo com a sua participação nas CGVs? A piora do indicador de “pegada ecológica” está associada a uma inserção mais profunda nas CGVs, ou inversamente a uma redução? É possível encontrar provas empíricas que comprovem as teses da economia ecológica a partir do indicador de participação das Cadeias Globais de Valor e de Pegada Ecológica?

Nesse sentido, dado os esforços tomados pelas instituições internacionais para a manutenção do equilíbrio ecológico, o trabalho contribui com a literatura por exercer uma pesquisa que avalie as diferentes trajetórias estilizadas que emergem da relação entre participação dos países nas CGVs e a exaustão dos recursos naturais a partir do indicador de pegada ecológica, relacionando-os com o seu nível de desenvolvimento. Além disso, possibilita a identificação dos possíveis comportamentos padronizados teorizados pela Economia Ecológica tomados pelas nações a partir da intensificação do comércio internacional.

Logo, o objetivo geral do presente estudo visa avaliar a relação empírica entre a participação dos países nas CGVs (TiVA OECD, 2022) e seus índices de pegada ecológica (*Ecological Footprint Network*, 2022) no período recente. Primeiramente, buscar-se-á identificar as diferentes trajetórias que emergem da relação entre o aprofundamento/enfraquecimento da participação dos países nas CGVs e a melhora/piora de sua pegada ecológica por meio de uma análise de *cluster* de 59 países no período de 2005-2018. Para tanto, iremos observar o indicador de participação nas CGVs e visualizar as mudanças nos indicadores de participação nas CGVs e de pegada ecológica, além de realizar uma análise de *cluster* por meio do método *k-means*. Dessa forma, tal análise tem

abordagem indutiva, de procedimento técnico estatístico, bibliográfica, cujo objetivo é descritivo. Os passos seguidos, inicialmente envolvem a revisão bibliográfica de artigos científicos que apresentam resultados empíricos, cujos temas envolvam a descrição do indicador “Pegada Ecológica” e fatores de degradação/sustentabilidade relacionados às CGVs; leituras documentais, as quais envolvem relatórios de instituições internacionais, tais quais a World Trade Center e a Global Footprint Network e a modelagem e interpretação dos dados de modo pelo *software Rstudio*.

Ademais, o trabalho também se propõe a testar empiricamente a relação entre CGVs e pegada ecológica por meio de estimações via System-GMM para o mesmo painel no período mencionado. O trabalho contribui para uma vasta literatura empírica que avalia os impactos do comércio internacional para a sustentabilidade ambiental, mas com um enfoque peculiar e ainda pouco explorado ao considerar especificamente os impactos das CGVs, distinguindo-os pelas distintas formas de participação, tal como em Solarin et al. (2017), Cole (2003), Wagner e Timmins (2008), entre outros.

Para tanto, além da introdução, o trabalho está organizado em quatro seções: (i) O comércio global e o meio ambiente, que reunirá projetos elementos conceitos e teóricos em torno da relação a ser estudada; (ii) Uma análise de *cluster* para 59 países, onde será observado os trajetos estilizados dos grupos de características semelhantes do comércio internacional e cuidados com o meio ambiente; (iii) o teste das hipóteses ambientais com o mercado internacional a partir de uma regressão longitudinal de dados de painel e (iv) considerações finais.

## 1. O COMÉRCIO GLOBAL E O MEIO AMBIENTE

Nos últimos dois séculos, os ganhos de produtividade e crescimento econômico têm se demonstrado pauta protagonista numa humanidade que cada vez mais se especializa em superproduzir e superconsumir. Atrelado à escala do aumento demográfico vivenciado desde os anos de 1800, tanto por uma melhora na qualidade de vida mundial, como por uma necessidade de crescimento de mão-de-obra, estes fatores sobrecarregam os recursos naturais, estes que, como um senso comum para todo o graduando em economia, são escassos e apresentam uma capacidade limitada de regeneração.

A lógica neoliberal surgida e propagada entre os anos 70 e 90, foi uma forma das produções domésticas ampliarem o alcance de seus mercados a partir da redução de barreiras para produtos e produções estrangeiras. Contudo, a competitividade de determinados produtos nacionais frente às mercadorias importadas de elevada escala e ganho tecnológico resultou na divisão internacional do trabalho, tendo em vista as respectivas vantagens comparativas. Em paralelo, a complexidade tecnológica de determinados produtos foi beneficiada pela globalização, uma vez que as vantagens passaram a valer para o processo produtivo de um mesmo bem. Ou seja, a nacionalidade da patente de um bem não significa que este foi concebido no mesmo país, o que intensifica mais ainda os fluxos de comércio entre as nações.

Desse modo, para melhor entender como o comércio multilateral influencia o comportamento das variáveis ambientais, esta seção trará conceitos prévios ao estudo empírico que este trabalho se predispõe a fazer. A princípio será exposto a ideia das Cadeias Globais de Valor como tópico para as relações de troca, seguida de teorias e hipóteses derivadas da economia ambiental, como a Curva Ambiental de Kuznets, a Biocapacidade e as hipóteses de Paraíso e Auréola de Poluição.

### 1.1 O comércio global e as cadeias globais de valor

O comércio entre diferentes povos data desde antes do Fenícios, civilização marcada por ser a primeira a criar as rotas comerciais por vias marítimas em meados de 2300 a.C., revolucionando a escala de compra e venda de produtos via mar mediterrâneo. A história prossegue com melhoria das embarcações; descoberta de novas rotas comerciais pelos povos ibéricos, cujo desenrolar desemboca na colonização das

Américas; o impetuoso absolutismo mercantil europeu, responsável pela lógica de poder soberano a partir do domínio de mercados e enriquecimento dos Estados-Nação; até a concepção das repúblicas democráticas e do capitalismo contemporâneo, pautado principalmente pelo liberalismo comercial, cuja doutrina prevê a livre relação de troca entre nações sem interferência de instituições de públicas que venham a atrapalhar estas transações. Esta última, portanto, evoluiria ao passo de tornar tanto o comércio quanto a produção com caráter global.

Apesar da identificação da fragmentação da produção em diferentes países, condição primordial para as CGVs, já no início do século XX, é apenas no final da década de 80 que as atenções dos pesquisadores se voltam para a sistematização teórica da divisão internacional do trabalho. Em paráfrase, a autora define fragmentação internacional da produção como:

“(...) um processo de combinação de serviços e atividades produtivas, que pode ser realizado por uma única empresa, geralmente transnacional, ou por diferentes firmas estrangeiras, e que consolida-se por meio da aquisição, via importações de insumos, peças e componentes necessários para a manufatura do produto final” (FEENSTRA *apud* HERMIDA, 2016, p.73).

Que complementa:

“Neste processo, predomina o comércio intrassetorial vertical, no qual distintas economias passam a se especializar em determinados estágios, tarefas e processos produtivos (padrões de especialização em diferentes atividades, mas em um mesmo setor) (HUMMELS et al.; ARNDT *apud* HERMIDA, 2016 p. 73).

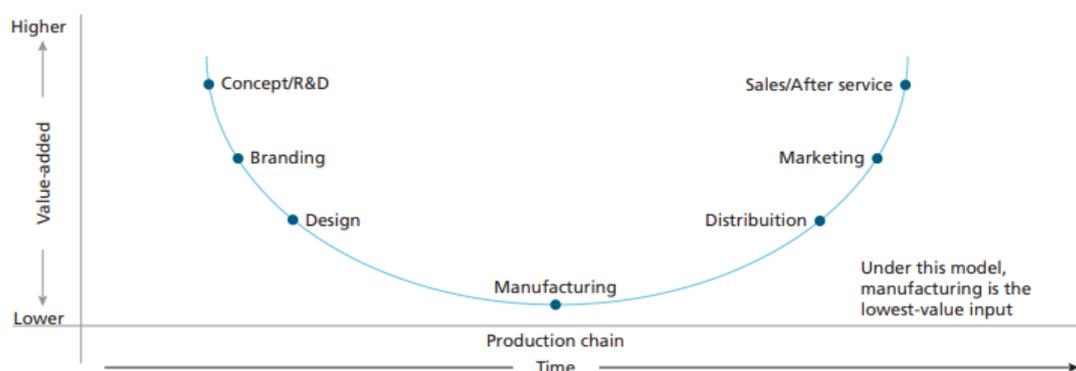
Sendo assim, quando um processo produtivo ultrapassa o nível da malha da especialização industrial de uma firma, ela tende a terceirizar esse serviço ou a compra do bem. Quando esta terceirização ultrapassa as barreiras nacionais, em vista da possibilidade de custos pagos ao estrangeiro serem menores que os valores domésticos, o processo fica conhecido como *offshoring*, não sendo este seu único sistema (HERMIDA, 2016).

Com os processos de inovação das redes de comunicação, atrelada à melhoria dos processos logísticos de transporte de produtos, mais empresas puderam ser atraídas para a produção fragmentada, fazendo com que a linha de produção fosse mundialmente alongada com a compra e venda de produtos intermediários, ocorrendo de forma repetida até o produto final. Entretanto, a mesma etapa intermediária do bem pode estar imbuída da adição de produtos derivados de outros países, criando outros braços nesta cadeia produtiva.

A cadeia global de valor, conceito desenvolvido em 1977 por Hopkins e Wallerstejn e inicialmente cunhado para aferir os direcionamentos do capitalismo moderno, sua estratificação hierarquizada no sistema mundial, ganhou contornos diferentes a partir do momento em que pensadores da sociologia econômica tentaram identificar como se deu o desenvolvimento industrial das nações no pós-guerra (BAIR, 2005). Em suma, as GVCs seriam então a organização metodológica de valor adicionado, cuja contabilidade se dá desde a concepção da *commodity* bruta e todo o trabalho valorado empregue nela, até a etapa final de venda ao consumidor. Com a fragmentação comercial já sistematizada, as vantagens comparativas possibilitam um maior *upgrading* tecnológico, o que permite a agregação de maior valor naquela etapa produtiva (HERMIDA, 2016).

De forma sistemática, a figura 1 ilustra a cadeia de produção de um produto desde a pesquisa e inovação, passando pela fabricação do bem, até a sua logística de vendas e serviços pós-vendas. Como é possível identificar, o processo manufatureiro é o que apresenta o menor valor agregado, dado os custos de transação, a preocupação de otimização da cadeia e da eficiência dos recursos para o concebimento do produto, ao contrário das extremidades da curva, as quais priorizam seus esforços nos processos de pesquisa e inovação, criando novas patentes, na identificação do produto e na experiência do consumidor (ZHANG e SCHIMANSKI, 2014).

**Figura 1: A curva “sorridente” de Stan Shih**



Fonte: Zhang e Schimanski (2014)

Entretanto a observação das cadeias também pode deixar claro o comportamento de países desenvolvidos e países de menor desenvolvimento quando:

Os estudos de casos, especialmente os focados na indústria de eletrônicos, sugerem um padrão de especialização comercial similar, no qual os países desenvolvidos especializam-se em produtos intensivos em capital, trabalho qualificado e outros aspectos intangíveis, capturando a maior parcela do valor adicionado, enquanto os países em desenvolvimento contribuem com atividades físicas de montagem e de baixa qualificação, adicionando pouco valor nas CGV (HERMIDA, 2016, p 110).

Quanto à participação nas Cadeias Globais de Valor, ponto metodológico fundamental para a realização deste trabalho, Koopman *et al.* (2010) na tentativa de entender como as economias adicionam valor dentro da matriz insumo-produto, assimila que existem duas forma possíveis para isso: quando um país compra insumos de outros para importar, denominado de *backward participation*, ou participação para trás e quando um país exporta produtos nacionais para a exportação de terceiros, conhecida como *forward participation*, ou participação para frente.

A participação para trás ocorre quando as empresas se concentram nas etapas iniciais da cadeia de produção, como a extração de matérias-primas ou a fabricação de componentes intermediários. Isso permite que essas empresas se especializem em segmentos específicos, contribuindo com insumos essenciais para a produção subsequente. Por outro lado, a participação para frente envolve etapas mais próximas do consumidor final, como montagem, marketing e serviços pós-venda. Esta forma de participação permite às empresas agregar valor através da customização, branding e melhoria da experiência do consumidor. Ambas as formas de participação refletem estratégias distintas para se integrar e se beneficiar da globalização das cadeias de produção, onde as empresas multinacionais escolhem concentrar seus esforços nas etapas que maximizam suas vantagens competitivas e capacidades (HERMIDA, 2016). Vale ressaltar que valores incorporados por multinacionais são contabilizados no país de exercício e não no país originário da empresa (OECD, 2023).

## **1.2. Teorias Ambientais**

### **1.2.1 Pegada Ecológica e Biocapacidade**

Assim como colocado por Young (2010), a contabilidade nacional tradicional falha em mensurar a riqueza obtida no ano, visto que, não subtrai do cálculo a perda dos recursos naturais não renováveis extraído das reservas e identifica os custos de reversão da poluição como adicional e não como vazamento de renda. Em sua visão, a alternativa para a contabilidade nacional ambientalmente correta seria a partir da classificação dos

bens ambientais e sua valoração, contabilizando o estoque de recursos naturais e o gasto para reequilibrar o ecossistema proveniente das emissões de gases tóxicos, sendo o principal deles o CO<sub>2</sub>.

Para mensuração das emissões, trabalhos anteriores utilizaram como medida as emissões e os fluxos de CO<sub>2</sub> para a contaminação do ar, como Grossman e Krueger (1995), Javorcik e Wei (2004), Peter e Hertwich (2006) e Solarin et al. (2017). Porém, apesar do dióxido de carbono representar cerca de 74% dos gases do efeito estufa, a sua emissão não contempla todo o rastro de poluição deixado pelas cadeias produtivas. Portanto, o uso do indicador denominado de “Pegada Ecológica” justifica-se por abranger não apenas as emissões, mas toda a degradação ambiental causada ao meio ambiente pelo homem.

Para o entendimento mais prático do que é a “Pegada Ecológica” é preciso imaginar que numa densa floresta nunca antes explorada ou habitada por seres humanos, a partir da visita do primeiro homem, a mata pisada demonstrará ao próximo visitante o melhor caminho para se passar. Com a sucessão de pessoas que passarem pelo mesmo caminho, a marca das pegadas formará uma trilha demonstrando por onde os seres humanos passaram para atravessar aquela floresta.

De maneira mais técnica, o *Global Footprint Network* (2022) explica que o indicador considera seis tipos de “florestas” ou áreas de produtivas as quais deixamos nossa trilha, cuja contabilização pode ser dada pela: pegada agrícola, pegada da pecuária, a pegada oceânica, a pegada florestal, a pegada da construção civil e a pegada de emissões de CO<sub>2</sub> (CIDIN e DA SILVA, 2004). Elas são medidas a partir do número de hectares necessário para a média da produção daquela área produtiva pela quantidade de pessoas. O total da Pegada Ecológica, então, seria a soma das respectivas pegadas para cada área.

Partindo da mesma metodologia, porém em sentido contrário, a Capacidade de Carga, Biocapacidade ou Resiliência representa um dos conceitos mais importantes da economia ecológica por conseguir aferir a totalidade do processo metabólico possível no tempo de um ano para a manutenção de um ecossistema em equilíbrio (ROMERO, 2011). A *Ecological Footprint Network* (2022) entende que a biocapacidade pode variar anualmente devido às condições climáticas imprevisíveis e pela caminhada no sentido de esgotamento dos recursos de regeneração.

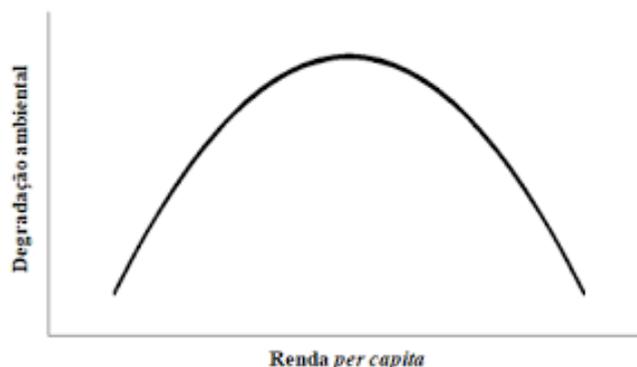
A mesma organização, explica que desde os anos 1971 estamos em déficit ecológico, ou seja, emitindo mais pós-consumo que o planeta suporta. Em 2022 o ano ecológico mundial terminou no mês de agosto (*Ecological Footprint Network*, 2023). Em

outras palavras, isso indica que consecutivamente durante pouco mais de meio século, a espécie humana degrada e reduz a capacidade de equilíbrio planetária, incorrendo em consequências imprevisíveis e irreversíveis.

### 1.2.2 Curva Ambiental de Kuznets

Simon Kuznets, economista russo do século passado, postulou a relação parabólica do crescimento do PIB *per capita* e a distribuição de renda ao observar o comportamento da passagem das economias agrícolas para economias industriais. Segundo ele, o crescimento econômico inicial se daria com uma maior concentração de renda, derivada da transferência de mão-de-obra do campo para as zonas urbanas, até o momento do ponto de viragem, quando a oferta de trabalho se torna menos elástica, as remunerações aumentam e há uma redução da desigualdade socioeconômica. O desenho gráfico em formato de “U” invertido deu nome à teoria, conhecida como Curva de Kuznets (LINHARES e ERNESTO, 2013).

No início da década de 90, Grossman e Krueger (1991; 1995) observaram que o mesmo fenômeno analisado pelo russo se dava para a evolução da renda e a preservação com o meio ambiente, criando assim o arcabouço teórico da Curva Ambiental de Kuznets (Figura 2). Em seguida, sistematizaram o fenômeno em três efeitos: (i) o efeito escala, sendo este o aumento da poluição em decorrência do crescimento econômico; (ii) o efeito técnico, que prevê uma mudança de patamar tecnológico com o aumento de investimento em P&D, induzida pela necessidade de maiores eficiências dos recursos naturais, (iii) o efeito de composição, sendo a mudança do perfil produtivo do país em bens e serviços. O ponto de viragem então se daria naturalmente dado que o efeito composição e o efeito técnico sobrepõe ao efeito escala.

**Figura 2: Curva de Kuznets ambiental**

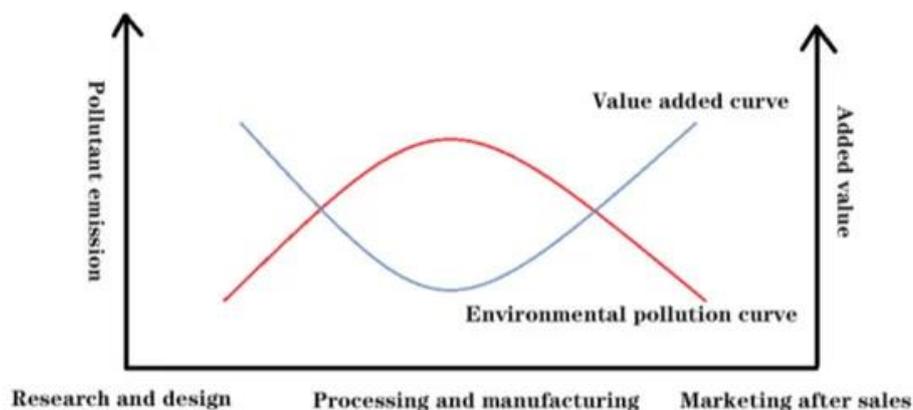
Fonte: Costa et al. (2019)

No contexto de nações globalizadas, o efeito escala seria amplificado, dado o mercado consumidor aumentado, o efeito técnico poderia ocorrer com maior celeridade, visto que o comércio globalizado permitiria transferências tecnológicas mais intensas, entretanto o efeito composição no comércio internacionalizado faria com que os países se especializassem em suas vantagens comparativas (COLE, 2003). Sendo os países de menor desenvolvimento os que estão nos pontos primários das CGVs, o que significa que estão nas etapas que menos agregam valor e com as indústrias mais intensivas em poluição, qual o ponto de viragem desse país uma vez que o efeito composição prevê a especialização nas vantagens comparativas?

Zhang e Liu (2023) responderam este questionamento em seu trabalho empírico, onde observam os efeitos ambientais a partir da inserção das CGVs para os países emergentes, para tanto utilizaram do modelo FGLS para dados em painel de 16 economias emergentes entre os anos de 1998 e 2019 observando a existência de outros dois efeitos além dos listados acima: o efeito renda e o efeito bloqueio. O primeiro refere-se ao aumento da renda nacional causado pela expansão industrial, que geraria por si só o aumento da conscientização pelo equilíbrio ecológico, o que cresceria a demanda por produtos ecologicamente corretos. Já o segundo, postula pela pressão vinda dos países do topo das cadeias para a manutenção da posição de fabricantes poluidores dos países em desenvolvimento. Eles concluem que esses efeitos não seriam estáticos. Em algum momento poderiam acontecer simultaneamente.

A Figura 3 representa a junção dos arcabouços teóricos da curva de Kuznets ambiental e da curva sorriso das CGVs, tal como em Zhang e Liu (2023).

**Figura 3: Valor adicionado e curva de poluição ambiental da cadeia de valor**



Fonte: Zhang e Liu (2023)

Nas fases iniciais do desenvolvimento econômico, quando a degradação ambiental tende a aumentar de acordo com a curva de U invertido de Kuznets, as atividades econômicas muitas vezes estão focadas nas etapas iniciais da cadeia de valor, onde ocorre a criação de valor mais elevado. Isso pode envolver a extração de recursos naturais e as atividades industriais manufatureiras sem muita consideração ambiental, contribuindo para a degradação ecológica. Conforme a economia progride e a renda per capita aumenta, a sociedade começa a se conscientizar dos impactos ambientais e a investir em tecnologias e práticas mais sustentáveis. Isso pode ser representado pela parte descendente da curva de U invertido de Kuznets, onde a degradação ambiental começa a diminuir. Ao mesmo tempo, as atividades de maior valor agregado nas fases iniciais e finais da cadeia de valor que são realizadas predominantemente por países desenvolvidos podem se tornar mais conscientes ambientalmente, incorporando práticas sustentáveis e investindo em inovações que reduzem o impacto ambiental.

### 1.2.3 “hipótese de paraíso poluidor” e Auréola de Poluição

Dentro do estudo de economia regional, entendemos que diversos fatores são analisados pelas firmas para a tomada de decisão de alocação de sua planta produtiva: deslocamento de mão-de-obra, posicionamento estratégico em relação à matéria prima ou ao mercado consumidor, custos com salários e fretes, tributos pagos; todos esses são elementos postos em consideração no momento da realização de um investimento. A partir dos anos 80 cresceu-se a preocupação com a emissão de poluentes no ar e na água pelos setores produtivos que se tornou um obstáculo à vida da espécie humana e deveria

ser enfrentado pelas nações. Desse modo, os instrumentos utilizados para redução da poluição pelos respectivos governos centrais se deram por meio de regulações ambientais, impostos e multas pagas pelos agentes poluidores e, em decorrência disso, as firmas têm uma nova preocupação no momento de decidir estrategicamente onde será a localização de sua empresa. Tendo isto em vista, os autores a seguir desenvolveram a “Hipótese do Paraíso Poluidor” como derivada da liberalização global, quando as barreiras à entrada a empresas não residentes são relaxadas e o investimento é direcionado a países de regimentos ambientais mais brandos, em sua maioria, nações em desenvolvimento.

Inicialmente, Taylor (2004) em seu trabalho, buscou desmembrar toda a teoria acerca da “Hipótese do Paraíso Poluidor” e assim sistematizar todo o arcabouço teórico. Ao afirmar que a poluição é também um insumo produtivo, é estabelecida uma série de pressupostos para elucidar o modelo: dois países classificados como Norte e Sul, tendo o Norte maior capital humano que o Sul; a gama de capital humano determina a especialização em bens limpos e sujos; a poluição é local em seus efeitos; o meio ambiente é um produto normal; o crescimento da poluição aumenta o desenvolvimento real; legislação contra emissões de poluentes é o único determinante para localização; o comércio é livre de tarifas; países não usam estrategicamente as políticas ambientais e as externalidades são completamente internalizadas, além disso o nível de regulamentação é definido pela disparidade de renda entre os dois países, logo, a liberalização econômica jogariam as indústrias intensivas em poluição para os países mais pobres (Copeland e Taylor *apud* Taylor, 2004).

É desse modo que Taylor (2004) desmembra em 5 etapas a “hipótese de paraíso poluidor”: (i) as características das respectivas rendas nacionais definirão como se darão as leis ambientais; (ii) a legislação vigente será refletida na forma de novos custos para as empresas; (iii) dada a identificação dos novos custos e dos preços relativos das vantagens comparativas dos outros países, é realizada a mudança de território da planta produtiva; (iv) a migração das firmas modificam os rendimentos e preços mundiais, além de redesenhar o mapeamento das características dos países; (v) com isso, uma nova rodada do ciclo acontece. Com isso, ele conclui que as legislações ambientais são de suma importância para a produção e comércio num contexto de globalização, porém outros fatores devem ser considerados quando falamos de investimento direto vindos do exterior, como a abundância de capital, intensidade de fatores produtivos, estrutura política local ou mobilidade de mão-de-obra qualificada e por isso não é factual.

Em contrapartida, a “hipótese de Auréola de Poluição” decorre não apenas em retirar a culpa do investimento direto externo pelo aumento da poluição e da produção intensiva em emissão de gases tóxicos em países de menor desenvolvimento como também seria responsável pela redução da curva de poluição (HUANG *apud.* NEJATI e TALEGHANI, 2022). Como explicado por Cole (2003), a abertura comercial e a entrada de investimento externo aceleraram o progresso técnico no sentido do uso mais eficiente dos recursos naturais.

## 1.2 Estudos empíricos

A partir do desenvolvimento de modelos empíricos é possível identificar o contrassenso de pesquisadores e resultados ambíguos com relação aos efeitos do comércio internacional e a economia ambiental. Grossman e Krueger (1995) identificam empiricamente como esse fenômeno se dá em diferentes países com níveis distintos de desenvolvimento. Seus resultados mostraram que a ampliação da base industrial requer, em um primeiro momento, altos índices de poluição do ar e da água. Em seguida, ao conseguir realizar processos de pesquisas e inovação para o desenvolvimento de etapas de produção efetivamente sustentável, os países registraram consideráveis quedas e estabilização das respectivas emissões.

Consecutivamente, Peter e Hertwich (2006), ao analisar a poluição incorporada no comércio internacional, tendo em vista o caso Norueguês, identificam que quando se importa um produto, importa-se também a poluição emitida em sua produção. Desse modo, o trabalho mostra que a emissão de CO<sub>2</sub> das importações norueguesas corresponde a 67% de sua emissão doméstica. O artigo dialoga com a relação da poluição com o grau de desenvolvimento, uma vez que identifica que cerca de 50% do CO<sub>2</sub> incorporado nas importações são derivados de países subdesenvolvidos, os quais contribuem com apenas 10% do valor embutido. Além disso, o estudo também entra em confluência com parte do método que será adotado dentro do presente trabalho, uma vez que é possível vislumbrar a relação entre poluição e valor adicionado em importações e exportações.

Javorcik e Wei (2004) expõem em seu trabalho o compromisso do investimento direto externo em função do rigor ambiental de 25 países da Europa Oriental e da antiga URSS. Para tanto, foi utilizado como método de regressão de múltiplas variáveis cuja variável dependente seria a probabilidade de ocorrer investimento direto e as variáveis

independentes seriam o volume de emissão de chumbo e CO<sub>2</sub> em razão do PIB, índice de sustentabilidade ambiental, participação em tratados internacional de proteção ao meio ambiente e a lisura das instituições controladoras dessas nações. Como resultado, foram encontradas poucas evidências concretas que sustentem a “hipótese de paraíso poluidor”, porém, identificou-se a maior propensão de indústrias limpas em investirem em países em desenvolvimento, além disso, quanto mais sólidas são os órgãos públicos na defesa ambiental, mais convidativo se torna o investimento direto.

Em contrapartida, Solarin et al. (2017) ao investigar a existência da “hipótese do paraíso poluidor” em Gana entre os anos de 1980 e 2012, concluíram que a hipótese é válida para o caso. Para chegar ao resultado, foi utilizado o método de defasagem distribuída autorregressiva com as variáveis de emissão de CO<sub>2</sub>, PIB e quadrado do PIB, consumo de energia, total e a parcela dos derivados fósseis e renováveis, qualidade institucional, urbanização e o nível de abertura comercial. Sendo assim, o estudo apontou para a cointegração das variáveis no longo prazo e afirmou a relação positiva entre as emissões de gases poluentes, o investimento direto estrangeiro, a população urbana, o comércio internacional e o PIB.

Direcionando o foco para um setor produtivo em específico, Wagner e Timmins (2008) tentaram identificar as evidências da “hipótese de paraíso poluidor” medindo o investimento direto externo das indústrias manufatureiras alemãs em 163 países. O desenvolvimento metodológico se dá em dois momentos: (i) com a implementação de um estimador de Método de Momento Generalizado para dados de painel dinâmico, a fim de ter maior controle sobre as variáveis endógenas e promover melhores resultados de correlação entre os indicadores e (ii) compara os resultados obtidos com os mesmos resultados para o segmento industrial menos poluente. Como resultado, dos setores produtivos analisados, apenas a indústria química apresentou dados de acordo com a hipótese. As indústrias primárias de mineração e de celulose não demonstraram o mesmo comportamento. Além disso, ainda foi possível observar que 1 a cada 3 fábricas da amostra, teve melhor estimação em um modelo dinâmico do que em fórmulas estáticas.

Ao examinar conexões da “hipótese de paraíso poluidor” com a curva ambiental de Kuznets, Cole (2003) examina se a divisão internacional do trabalho impacta positivamente ou negativamente nos padrões ambientais, através dos fluxos comerciais entre países. No aparato metodológico, é realizado quatro pares de comparação em análise gráfica do percentual das exportações líquidas de países desenvolvidos e países em desenvolvimento para quatro setores intensivos em poluição e 3 setores de indústria

limpa. Sua amostra contou com os Estados Unidos, Reino Unido, Japão, o continente asiático e a América Latina. Concluiu-se, então, a transferência da planta produtiva tanto para os setores sujos quanto os limpos, além de possíveis paraísos poluidores temporários e, finalmente, que a curva ambiental de Kuznets não pode ser explicada pela “hipótese de paraíso poluidor”.

Pondo a Pegada Ecológica em cena, o estudo de Yilanci et al. (2023) investiga se na dinâmica da variável de Pegada Pesqueira da Indonésia há a possibilidade da “hipótese de paraíso poluidor”, ou da “hipótese da auréola de poluição”, cujo direcionamento se dá no sentido contrário à da primeira hipótese. Ou seja, através da liberalização econômica, países desenvolvidos transferem tecnologia para os países periféricos e assim eles passam a ter práticas ambientalmente eficientes. Para testar as hipóteses, o modelo econométrico utilizado foi o de distribuição autorregressiva para séries temporais e as variáveis escolhidas foram Pegada Pesqueira, Investimento Direto Estrangeiro (IDE), PIB *per capita* e o grau de abertura comercial. Os indícios encontrados apontam para o IDE ser benéfico para o desenvolvimento sustentável do setor pesqueiro da Indonésia.

Xu, Li e Wang (2023) tentaram identificar a possibilidade da elevação da posição das CGVs agrícolas reduzirem a Pegada Ecológica e se a intensidade de leis ambientais mais rígidas nas CGVs, por sua vez, resultaria na melhora da sustentabilidade. Eles partem do pressuposto que a população via incremento de renda e a coerção jurídica pressionam o setor produtivo a inovar tecnologicamente no sentido de uma produção mais verde. Desse modo, para aferir suas hipóteses empiricamente, usaram o método de momentos generalizados (GMM) para uma amostra de 53 países divididos em nações de alto desenvolvimento e países de médio-baixo desenvolvimento. Sua variável dependente foi a Pegada Ecológica, explicada pelo indicador de posição nas CVGs e pelo nível de regulações ambientais, além do produto *per capita*, tecnologia ambiental, imposto ambiental e taxa de urbanização como indicadores de controle. Como efeito, o estudo demonstrou que a pegada ecológica é afetada negativamente quando maior a posição de um país nas CGVs agrícolas e a legislação ambiental impulsiona o efeito ecológico das CVGs agrícolas.

Em outro estudo, a pegada ecológica foi analisada sob influência da complexidade econômica e da renda gerada pelo uso dos recursos naturais para países da América Latina, dado que o continente é ocupado por nações de baixo nível industrial e alto índice de exploração das vastas riquezas naturais (ALVARADO et al., 2021). Utilizando um período de 1980 a 2016 para 17 países latino-americanos organizados categoricamente

em tem três níveis rendimentos: alto, médio-alto e médio baixo, para uma regressão quantílica para dados em painel, os autores optaram por utilizar a pegada ecológica como variável dependente, o nível de complexidade econômica e o rendimento dos recursos como variáveis explicativas e indicadores que pudessem representar o acesso ao crédito interno, globalização e desigualdade social como variáveis de controle. O modelo resultou em evidências parciais a favor da curva ambiental de Kuznets, dado que à medida que o grau de complexidade aumenta, a pegada ecológica também aumenta para países de alto e médio-alto rendimento, porém, os países de médio baixo rendimento tinham as suas pegadas reduzidas à medida que a complexidade econômica crescia. As conclusões do estudo indicam que políticas de redistribuição de renda e melhoria da sofisticação econômica são condições fundamentais para o desenvolvimento sustentável, vista a relação positiva entre a degradação ambiental com a exploração das riquezas da terra e desigualdade social.

A classificação e identificação do uso das matrizes energéticas também são de fundamental importância para investigações empíricas do comportamento do indicador da pegada ecológica. Danish, Ulucak e Khan (2020) identificaram que, para os países do BRICS, a pegada ecológica não só funciona como variável dependente na relação de Kuznets, como também o uso de energias renováveis, urbanização e a renda retirada dos recursos naturais são fatores preponderantes para a indução do ponto de viragem para as economias do bloco. Mais especificamente, no caso da Índia, entre os anos de 1990 e 2018 provou-se que no curto prazo a globalização teria impacto positivo sobre o uso de energias renováveis, e, por sua vez, auxiliariam na redução da pegada ecológica (WAN et al., 2022). Não só a globalização, mas abertura comercial para o capital financeiro e o uso de energia renováveis são positivamente relacionadas de maneira bivariada. Outro fator que influencia para a contração da pegada (USMAN, MAKHDUN e KOUSAR, 2021).

O Quadro 1 apresenta uma síntese dos artigos apresentados, por autor, método, amostra, variáveis utilizadas e os respectivos resultados obtidos.

**Quadro 1 – Síntese das referências bibliográficas**

<b>Autor(es)</b>	<b>Amostra</b>	<b>Método</b>	<b>Variáveis</b>	<b>Resultados</b>
Grossman e Krueger (1995)	diversas cidades em diferentes países	Abordagem de forma reduzida	Renda <i>per capita</i> , poluição do ar urbano, o nível do oxigênio nas águas dos rios, contaminação fecal dos rios, contaminação dos rios por metais pesados.	Nos estágios iniciais de crescimento há o aumento de poluentes.
Peter e Hertwich (2006)	7 países desenvolvidos e um grupo em desenvolvimento	análise input-output	Importação da Noruega e emissões de CO2 por diferentes frentes de demanda final	A Noruega importa mais de países desenvolvidos, porém os produtos com mais poluentes incorporados são do bloco em desenvolvimento
Alvarado et al. (2021)	17 países da América Latina/ 1980 - 2018	Regressão quantílica para dados em painel	Pegada Ecológica, Complexidade Econômica, Renda dos recursos naturais, Nível de participação do mercado internacional, acesso ao crédito e desigualdade social	Favorável à curva ambiental de Kuznets
Javorcik e Wei (2004)	25 países da Europa oriental e soviéticos	Regressão de múltiplas variáveis	Probabilidade de ocorrer investimento direto, Volume de emissão de chumbo, emissão de CO2 em razão do PIB, sustentabilidade ambiental, participação em tratados ambientais e lisura das instituições reguladoras.	Contrária à “hipótese de paraíso poluidor”
Solarin et al. (2017)	Gana/1980 - 2012	defasagem distribuída autorregressiva	Emissões de CO2, PIB, PIB <sup>2</sup> , consumo de energia total, consumo de energia fóssil e consumo de energia renovável.	Favorável à “hipótese de paraíso poluidor”
Wagner e Timmins (2008)	Indústria alemã em 163 países	Método de Momento Generalizado para dados de painel dinâmico	Renda, Investimento direto externo, tarifas para poluentes	Favorável à “hipótese de paraíso poluidor”
Cole (2003)	EUA, Reino Unido, Japão, continente asiático e América Latina	Séries temporais em dados de painel	Poluentes, efeitos nos países, renda <i>per capita</i> , efeito específico do ano, manufaturas, exportações intensivas em poluição para países fora da OCDE, intensidade comercial	Paraíso poluidor temporário e a curva ambiental de Kuznets não pode ser explicada pela hipótese
Yilanci et al. (2023)	Indonésia	distribuição autorregressiva para séries temporais	Pegada Pesqueira, Investimento Direto Estrangeiro (IDE), PIB <i>per capita</i> e o grau de abertura comercial.	Favorável à hipótese de auréola de poluição
Xu, Li e Wang (2023)	53 países de diferentes graus de desenvolvimento	método de momentos generalizados (GMM)	Pegada Ecológica, posição nas CGVs, regulações ambientais, produto per capita, tecnologia ambiental, imposto ambiental e taxa de urbanização	Pegada ecológica é inversamente proporcional à posição nas CGVs
Danish, Ulucak e Khan (2020)	Países do BRICS/1992 - 2016	painel de dados para os modelos FMOLS e DOLS	Pegada Ecológica, PIB real, uso de energia renovável, rendados recursos naturais e urbanização	Pegada ecológica favorável à curva de Kuznets
Wan et al. (2022)	Índia/ 1990 - 2018	Modelos ARDL e VECM	Pegada Ecológica, complexidade econômica, globalização, uso de energia renovável	O aumento das variáveis influencia para a redução da pegada ecológica
Usman, Makhdun e Kousar (2021)	15 países emissores/ 1980 - 2017	Corte transversal para painel de dados	Pegada Ecológica, desenvolvimento financeiro, uso de energia de matriz renovável e não renovável, abertura comercial	Mercado financeiro e abertura comercial é proporcional à sustentabilidade

Fonte: Elaboração própria

## 2. ANÁLISE DESCRITIVA E ANÁLISE DE *CLUSTER* DO DESEMPENHO DOS PAÍSES NAS CGVS E DE SEUS ÍNDICES DE PEGADA ECOLÓGICA

A presente etapa está dedicada a fazer um experimento empírico utilizando a análise de *cluster* hierárquica, de modo a medir as diferentes trajetórias estilizadas dos grupos de países formados, a partir das semelhanças individuais no que diz respeito ao desempenho dos indicadores de participação da CGVs e de Pegada Ecológica, levando em consideração, também, o grau de desenvolvimento das nações. A seção inicia com uma explicação dos indicadores e do passo a passo realizado para obtenção dos resultados, seguida da de uma análise descritiva dos indicadores com o passar do tempo e da demonstração dos resultados encontrados e, por fim, a discussão destes no que tange o propósito do trabalho.

### 2.1 Procedimentos metodológicos

#### 2.1.1 Indicadores e bases de dados

A amostra de 59 países e o período de análise (2005-2018) foram determinados pelo cruzamento de dados da matriz de insumo-produto global *Trade in Value Added (TiVA)*, versão 2022 da OCDE, com a base da *Global Footprint Network* (2023). Por meio dessas bases foi calculado o índice que representa a participação nas CGVs (*CVG*) no período de tempo (*t*), como descrito pelo método de Koopmann et al. (2014). Tal índice representa a soma dos percentuais de participação “para trás” (*VS*) e participação “para frente” (*VS1*) em razão das exportações brutas de cada país, dado pela fórmula:

$$CVG(t) = \frac{VS(t)+VS1(t)}{Exportações\ brutas(t)} \quad (1)$$

O primeiro deles refere-se ao valor adicionado estrangeiro presente nas exportações do país (*backward participation*) e o segundo compreende ao valor doméstico contido nas exportações de países terceiros (*forward participation*).

O espaço biologicamente produtivo tem por finalidade a garantia da criação e regeneração dos recursos naturais fundamentais à manutenção da vida e amortecedor dos impactos da ação humana. Nesse sentido, a pegada ecológica é um indicador que permite contabilizar o quanto desses espaços produtivos a população mundial está consumindo

em suas atividades produtivas a partir da soma de todas as demandas dessa produção sobre os recursos criados pela natureza (GALLI et al., 2018).

Logo, a Pegada Ecológica produtiva é traduzida mediante a equação:

$$PE_{prod}(t) = \frac{P(t)}{Ym(t)} * FEQ \quad (2)$$

Onde:

- **P** é a produção em toneladas no ano t
- **Ym** é o rendimento médio mundial em toneladas por hectare no ano t
- **FEQ** é o fator de equivalência

Em suma, a pegada ecológica é determinada pelo fluxo anual da massa das colheitas ou resíduos produzidos racionalizado pelo rendimento médio das terras. Além disso, o indicador também é eficaz em equalizar o efeito da Renda Diferencial da Terra. Sendo a capacidade regenerativa da biosfera diferente nos mais variados locais, a unidade de medida de hectares globais (gha) trabalha de modo a considerar o nível de capacidade de carga igual à média mundial de um hectare produtivo. Este nivelamento seria dado pelo fator de equivalência (GALLI, et al., 2018).

Logo, a pegada por área produtiva estaria dada pela soma de tudo o que pode ser classificado como pertencente daquela área. E a pegada total de um país refere-se à soma de da pegada ecológica de produção de todas as seis áreas de produção.

### 2.1.1. Grupamento vetorial por quadrante

Após a coleta dos dados foi realizado um grupamento simples levando em consideração o comportamento do sentido vetorial a partir da variação dos movimentos conjuntos entre “pegada ecológica” e a participação dos países nas CGVs de cada observação. Tal agrupamento consiste de uma matriz 2x2 com as possíveis combinações de mudanças nos dois indicadores: 1. Trajetória 1 (T1): Aumento na “pegada ecológica” do país e aprofundamento de sua participação nas CGVs. 2. Trajetória 2 (T2): Aumento na “pegada ecológica” do país e enfraquecimento de sua participação nas CGVs. 3. Trajetória 3 (T3): Redução na “pegada ecológica” do país e aprofundamento de sua participação nas CGVs. 4. Trajetória 4 (T4): Redução na “pegada ecológica” do país e

enfraquecimento de sua participação nas CGVs (Quadro 2).

**Quadro 2: Trajetórias vetoriais estilizadas**

T3: Aprofundamento da participação nas Cadeias Globais de Valor e Redução da Pegada Ecológica	T1: Aprofundamento da participação nas Cadeias Globais de Valor e Aumento da Pegada Ecológica
T4: Enfraquecimento da participação nas Cadeias Globais de Valor e Redução da Pegada Ecológica	T2: Enfraquecimento da participação nas Cadeias Globais de Valor e Aumento da Pegada Ecológica

### 2.1.2 Análise de agrupamento *k-means*

O método de análise de agrupamentos não hierárquico *k-means* é ideal para o estudo pois auxilia na identificação de grupos nos quais suas observações internas apresentam padrões semelhantes (FAVERO, 2017). Na perspectiva da interação das CGVs em relação à degradação do meio ambiente, a partir do agrupamento de países podemos identificar não somente as relações de crescimento e decréscimo dos indicadores com o passar do tempo, como também se há padrões que relacionem o desempenho dos indicadores com o nível de desenvolvimento, investigações de políticas internacionais e ambientais ou apenas semelhanças regionais.

Para o modelo escolhido, o teste Elbow encontra-se como uma das possíveis formas de encontrar a quantidade ideal de *clusters* para o estudo, uma vez que o *k-means* necessita que os grupos sejam dados inicialmente. Em seguida o modelo funcionará de modo a aglomerar as observações mais próximas em torno de centroide, cuja definição se dá pela média das distâncias euclidianas das observações presentes no respectivo agrupamento, ressaltando que a variabilidade entre os indivíduos analisados deva ser maior se estiverem em diferentes *clusters* que a variabilidade interna. Apesar dos diferentes quadrantes cartesianos encontrados num mesmo grupo, o método permite identificar consideráveis semelhanças (FAVERO, 2017).

Antes da manipulação dos dados, devemos identificar a escala em que estão dispostos. Como é o caso da relação entre os indicadores utilizados, os quais se dispõem em medidas diferentes torna-se necessária a intervenção nas variáveis por meio do *z-score*, de modo a equalizar as dimensões das variáveis (FAVERO, 2017). O procedimento

consiste na medida de sua posição relativa em consonância com a média e a dispersão da amostra. Ele é dado por:

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (3)$$

Onde:

**Z** = Z-score

**μ** = Média da amostra

**x** = Valor individual

**σ** = Desvio Padrão

Com a padronização, os números negativos representam os valores abaixo da média, o zero indica os valores muito próximos à média e os valores positivos, se o número for acima da média.

Após o dimensionamento, foram elaborados os *clusters* com o *k-means* para o ano de 2005 com o objetivo de identificar os grupos formados e seus respectivos centroides de acordo com o desempenho das variáveis. A partir da formação dos *clusters* e da configuração dos países em 2005, o mesmo procedimento foi realizado para o período de 2018, para assim encontrar o novo centroide. Obtido os valores dos pontos médios de cada agrupamento, foi feita a variação dos indicadores de participação nas CGVs e Pegada Ecológica e assim obtido o seu deslocamento percentual entre os períodos:

$$\Delta CGV = \frac{CGV(2018) - CGV(2005)}{CGV(2005)} \quad (4)$$

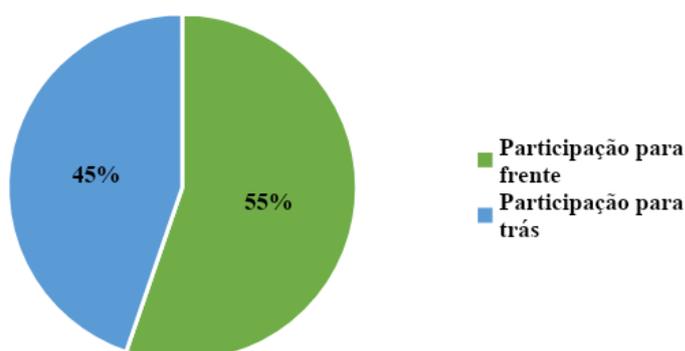
$$\Delta PEprod = \frac{PEprod(2018) - PEprod(2005)}{PEprod(2005)} \quad (5)$$

Com o arcabouço em mãos, e os resultados prontos, o estudo seguiu para a avaliação do desempenho dos indicadores a partir do grau de desenvolvimento dos países da amostra. A nomenclatura para este nível de desenvolvimento é dada pela base de *Ecological Footprint* (2018), a qual apresenta quatro graus. (1) HI: Alto Desenvolvimento; (2) UM: Desenvolvimento Médio Alto; (3) LM: Desenvolvimento Médio Baixo e (4) LI: Baixo desenvolvimento.

## 2.1 Resultados

Inicialmente, ao avaliar a composição do indicador de nível de participação dos países nas CGVs (Gráfico 1), percebemos que o somatório das participações, no período de 2005 a 2018, indicam que 55,2% da comercialização de insumos intermediários foi da modalidade “para frente”, ou seja, países que exportaram componentes para outro, cujo produto final foi reexportado por um terceiro país. E 44,8% correspondem à participação “para trás”, que são os insumos, partes, peças e componentes produzidos por países terceiros e presentes nas exportações do país.

**Gráfico 1: Composição do índice de participação nas CGVs (2005- 2018)**

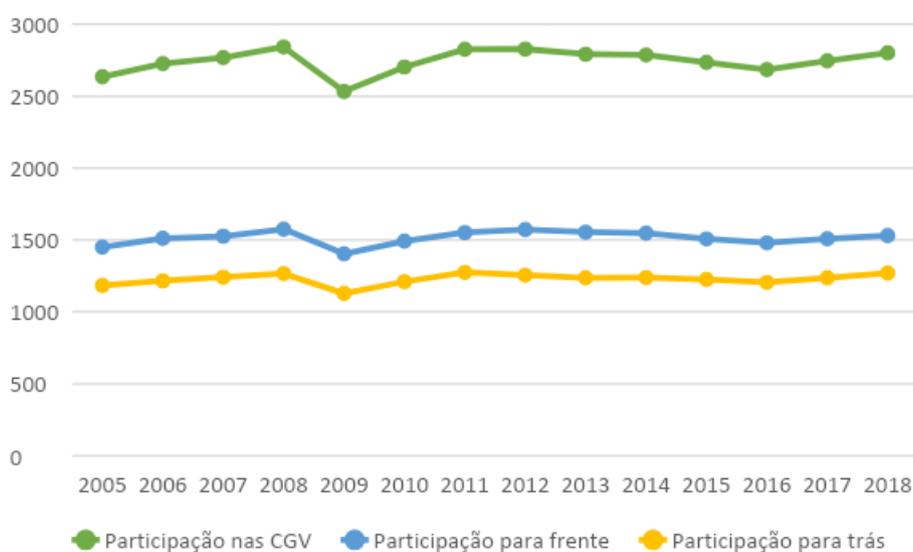


Fonte: Elaboração própria a partir de TiVA (2022).

Além disso, no decorrer do espaço temporal do trabalho, a média das oscilações da participação nas CGVs para toda a amostra de países foi de 0,6%, desembocando num aumento de 6,3% entre o período inicial e final. Por outro lado, o comportamento das participações “para frente” e “para trás” mantiveram-se inalterados, com as participações “para frente” superiores às participações “para trás”, entretanto com uma lenta aproximação entre as interações (Gráfico 2). Tais resultados são ilustrativos das tendências globais em comércio e produção. De acordo com a literatura, a predominância da participação "para frente" reflete a estratégia de muitos países em buscar se especializar em etapas avançadas da cadeia produtiva com maior agregação de valor. Além disso, o aumento do envolvimento mundial nas CGVs é um indicativo da crescente globalização e interdependência econômica. Conforme discutido na literatura, este fenômeno está alinhado com a expansão do comércio internacional e a integração econômica, onde países se especializam em diferentes estágios da produção com base em

suas vantagens competitivas. A lenta convergência entre as participações "para frente" e "para trás" sugere um equilíbrio gradual entre estas duas formas de engajamento nas CGVs, potencialmente indicando uma diversificação nas estratégias de comércio e produção dos países envolvidos.

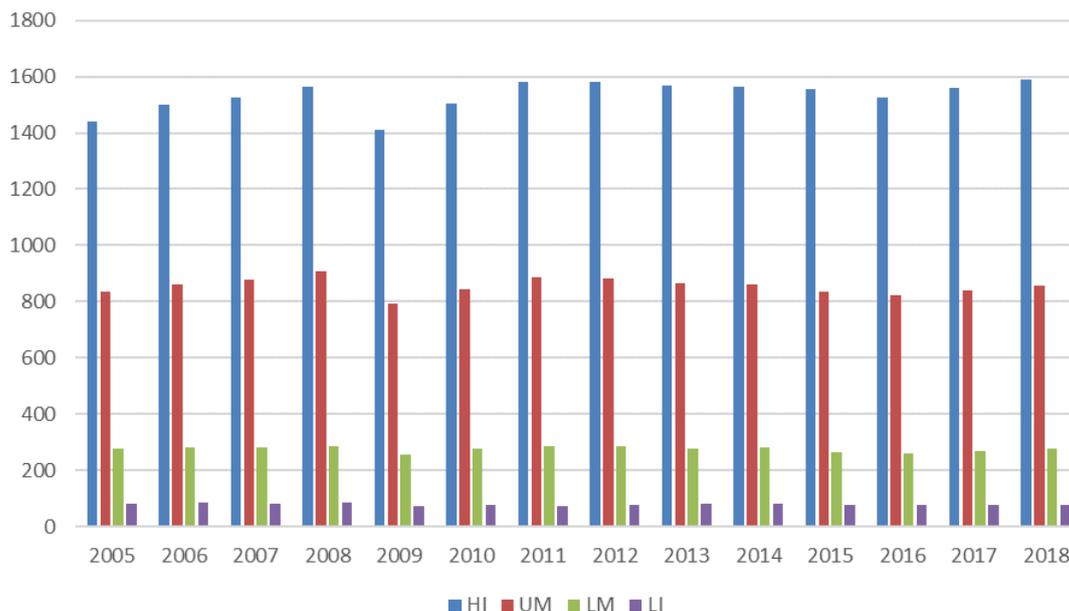
**Gráfico 2: Evolução da soma de participação nas CGVs entre os países da amostra de 2005 a 2018**



Fonte: Elaboração própria a partir de TiVA (2022).

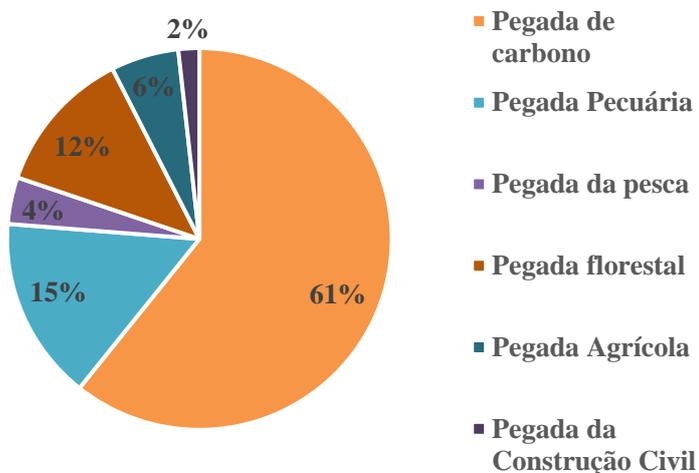
Quando analisado o somatório do total da participação das CGVs em relação ao desenvolvimento de cada país (Gráfico 3) identificamos o crescimento da participação do bloco dos países de alto desenvolvimento (HI), os quais registraram maior crescimento no período de 2005 a 2018, elevando o índice em 10,3%, seguido dos países de médio alto desenvolvimento, com o incremento de 2,7% em suas participações. Já os países menos desenvolvidos decresceram no período analisado, os países de médio baixo estiveram praticamente estagnados, registrando decréscimo de 0,5% e os países de baixo desenvolvimento reduziram em 5,3% as suas participações.

**Gráfico 3: Participação nas CGVs dos países agrupados por nível de desenvolvimento econômico de 2005 a 2018**



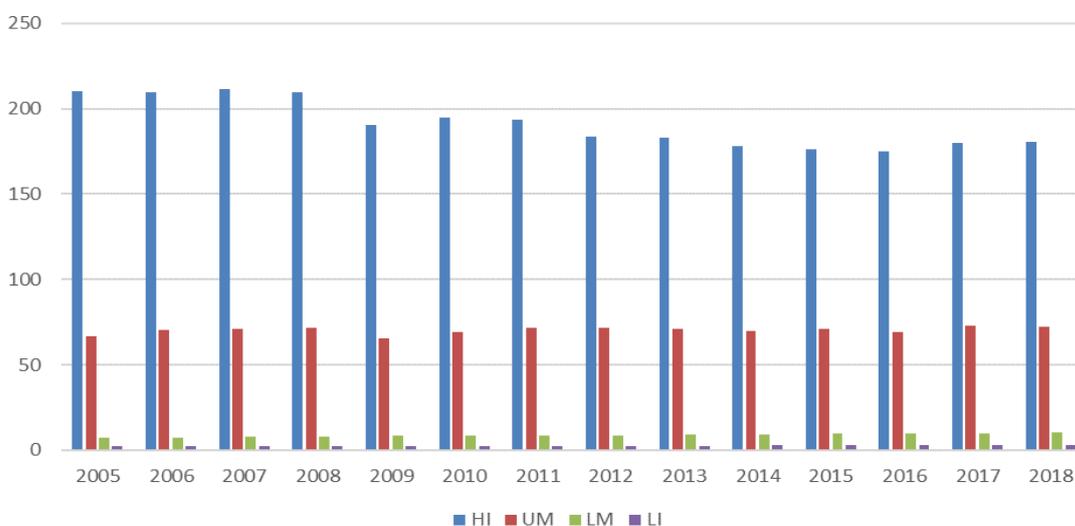
Fonte: Elaboração própria a partir de TiVA (2022).

Analisando o indicador de pegada ecológica, o último relatório da *Global Footprint Network* aponta que em 2018 a pegada ecológica do planeta foi de, aproximadamente, 2,8 hectares globais *per capita*, enquanto sua capacidade de carga era 1,6 hectares globais *per capita*, o que implica num saldo negativo na mesma unidade de medida de 1,2. Em outras palavras, isto implica dizer que o planeta consumiu/poluiu 75% a mais do que o ecossistema suporta. O dado de esgotamento representa um crescimento se comparado com o ano de 2005, quando, mesmo com o saldo negativo, a pegada ecológica era cerca de 50% superior à capacidade de carga de um ano. Considerando somente a nossa amostra, é possível visualizar no Gráfico 3, a composição do indicador de Pegada Ecológica, no ano de 2018. Os que tiveram maior contribuição foram a Pegada de Carbono e a Pegada Agrícola, cuja participação correspondeu com cerca de 80% do todo, enquanto a Pegada da Construção Civil e a Pegada de Aquicultura compõem apenas 5,5%, sendo as atividades mais sustentáveis para o consumo humano.

**Gráfico 4: Composição do indicador de Pegada Ecológica em 2018**

Fonte: Elaboração própria a partir de *Global Footprint Network*.

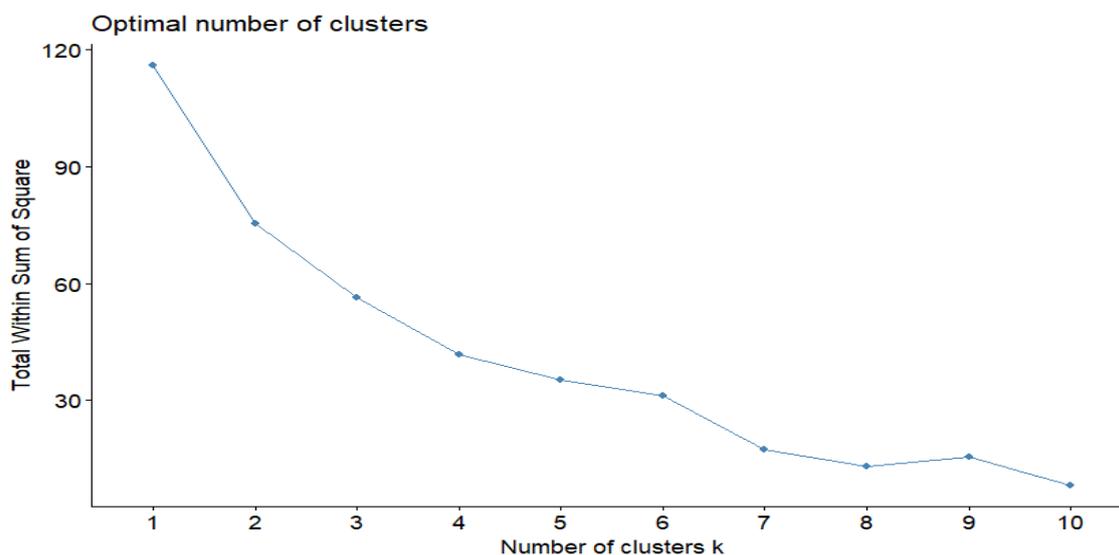
Diferentemente da participação nas CGVs, os países desenvolvidos reduziram o nível da pegada ecológica, como é possível identificar no Gráfico 5, em 14,1%, se comparado com o período inicial de análise. Em contrapartida, todos os outros grupos de desenvolvimento aumentaram a sua pegada. Os países de médio alto desenvolvimento registraram o menor aumento dentre estes, de 8,7%. Já os países de médio baixo e baixo desenvolvimento apresentaram grandes aumentos em seu indicador de degradação, que registrou 39,6% e 37,5%, respectivamente.

**Gráfico 5: Pegada ecológica dos países agrupados por nível de desenvolvimento econômico de 2005 a 2018**

Fonte: Elaboração própria

De acordo com os passos da metodologia proposta, a aplicação do teste Elbow apontou que seis seria o número ótimo de *clusters* para o estudo, conforme indica o Gráfico 6. Os seis *clusters* identificados estão dispostos na Tabela 1.

**Gráfico 6: Teste Elbow**



Fonte: Elaboração própria.

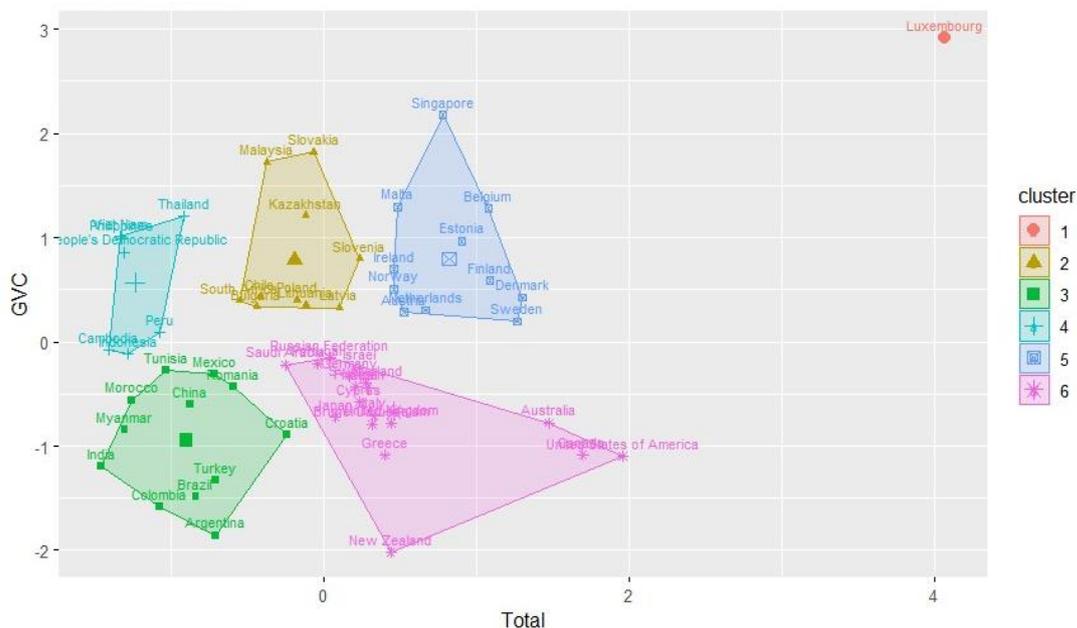
**Tabela 1: Clusters por meio do *k-means***

CLUSTER	QTD	PAÍSES	DIFERENÇA PE (%)	DIFERENÇA GVC (%)	SENTIDO
<i>cluster 1</i>	9	Bulgária, República Democrática Popular do Laos, México, Marrocos, Peru, Filipinas, Tailândia, Tunísia, Vietnam.	4,8%	-36,4%	T2
<i>cluster 2</i>	17	Áustria, Brunei Darussalam, Dinamarca, Estónia, Finlândia, Irlanda, Cazaquistão, Lituânia, Malásia, Malta, Países Baixos, Noruega, Polónia, Eslovénia, Eslováquia, Singapura, Bélgica.	32,7%	14,4%	T1
<i>cluster 3</i>	10	Argentina, Brasil, Mianmar, Colômbia, Croácia, Índia, Indonésia, Camboja, Turquia, China.	-1,7%	16,8%	T3
<i>cluster 4</i>	4	Austrália, Canadá, Nova Zelândia, Estados Unidos da América.	-9,8%	-2,9%	T4
<i>cluster 5</i>	18	Chile, Chipre, França, Alemanha, Grécia, Israel, Itália, Japão, Letónia, Portugal, Roménia, Federação Russa, Arábia	-70,7%	-8,0%	T4

Fonte: Elaboração própria

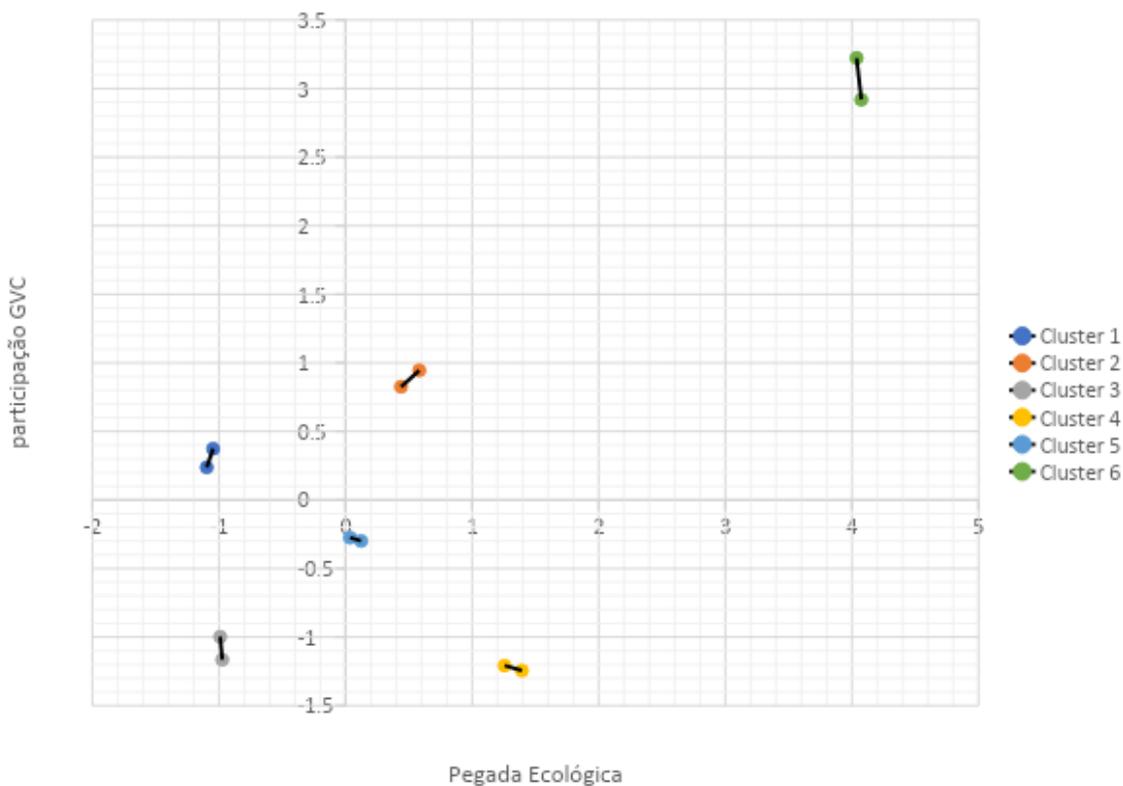
A partir dele, os agrupamentos obtidos para o ano de 2005 (Gráfico 7) se repetiram para o ano de 2018 e assim foi possível obter os centroides dos respectivos *clusters* para cada ano, como observado no Gráfico 8.

**Gráfico 7: Configuração dos grupos**



Fonte: Elaboração própria

**Gráfico 8: Clusters para participação nas CGVs e pegada ecológica**



Fonte: Elaboração própria

Tomando como base o sentido vetorial entre as diferenciações do período inicial para o período final, o modelo identificou que os *clusters* realizaram diferentes trajetórias propostas na matriz 2x2 em relação às suas variáveis, assim como é possível identificar no gráfico 5. Dentre as trajetórias, T1 e T2 tiveram apenas um grupo cada e tanto T3 como T4 tiveram dois grupos (Tabela 1).

Ao verificar a configuração dos *clusters* e as características dos países que os ocupam, como o seu grau de desenvolvimento econômico e tecnológico, percebe-se uma padronização quanto à interação da participação nas CGVs e da Pegada Ecológica. O arcabouço teórico que permite esta análise foi formulado inicialmente pelo economista russo Kuznets, o qual relaciona o grau de desenvolvimento de determinada nação com a desigualdade de renda por ela emitida (ALMEIDA E CARVALHO, 2010). Grossman e Krueger (1991; 1995) adaptam essa curva para a relação entre crescimento econômico e poluição ou degradação ambiental, originando a Curva Ambiental de Kuznets.

Relembrando o conceito da Curva de Kuznets, Amaral e Carvalho (2010) explicam que uma determinada nação, quando começa a gestar um processo de industrialização, tende a poluir de maneira crescente até alcançar sua maturidade produtiva. A partir daí, com melhores índices de desenvolvimento alcançados em razão do desenvolvimento econômico trazido pelo setor industrial, um processo de pesquisas e inovações são realizadas em prol das melhorias dos indicadores ambientais, reduzindo assim a redução de poluentes totais.

Ao relacionar os resultados do sentido vetorial com a categoria de desenvolvimento dos países de cada *cluster*, percebe-se como é direcionada a capacidade de redução da Pegada Ecológica (Tabela 2), uma vez que, a maioria dos países que obtiveram melhores resultados para o meio ambiente foram de maior desenvolvimento. Em dados brutos, de um total de 33 países que conseguiram reduzir poluição, 19 deles (57,6%) são nações desenvolvidas, enquanto 10 (30,3%) estão em médio alto desenvolvimento e médio baixo desenvolvimento e baixo desenvolvimento, ambos foram representados por 2 (6,1%) países. Para as nações desenvolvidas que reduziram suas emissões, apenas duas faziam parte do *cluster* que aumentou sua participação nas CGVs, contudo, as outras 17 estão presentes no *cluster* que reduziu sua participação nas CGVs.

Em contrapartida, dos 26 países que se encontram nos grupos que aumentaram seu índice de degradação ambiental, 13 deles (50,0%) são de países desenvolvidos, 9 (34,6%) são de médio alto desenvolvimento e 4 (15,4%) são de médio e baixo

desenvolvimento. Ademais, dentre os desenvolvidos, a sua totalidade apresentou aprofundamento de suas participações nas CGVs.

**Tabela 2: Análise dos *clusters* com base no nível de desenvolvimento dos países**

CLUSTER	DESENVOLVIMENTO				TRAJETÓRIA
	HI	UM	LM	LI	
1	0	5	4	0	T2
2	13	4	0	0	T1
3	1	5	2	2	T3
4	4	0	0	0	T4
5	13	5	0	0	T4
6	1	0	0	0	T3
Total	32	19	6	2	

Fonte: Elaboração própria.

Sendo assim, a análise dos *clusters* e sua relação com o desenvolvimento dos países mostra que há de fato uma padronização no sentido ecológico. Por outro lado, percebe-se que este vetor para a amostra desenvolvida é inversamente proporcional, na maioria dos casos, com o aprofundamento nas participações das CGVs.

Notavelmente, nos casos em que há aumento da poluição, uma porção significativa dos países em desenvolvimento (médio e baixo) também está presente (48,1%). Isso pode indicar que, em estágios iniciais de desenvolvimento industrial, esses países ainda estão em uma fase de crescimento que resulta em maior poluição, conforme proposto pela Curva de Kuznets. No entanto, os resultados podem indicar que, apesar do status de alto desenvolvimento econômico e tecnológico, a teoria de Kuznets não é regra universal para todos os contextos, o que deixa no ar alguns questionamentos. Dado o desempenho da interação dos indicadores neste estudo, a relação inversa entre a participação nas CGVs e a pegada ecológica dos países desenvolvidos podem apontar para a “hipótese de paraíso poluidor”, visto que, os países que aumentaram a sua participação nas cadeias aumentaram também a pegada e os que reduziram sua participação nas cadeias, diminuíram a pegada. Essas diminuições, por sua vez, podem estar atreladas ao fato de empresas na forma de multinacionais migrarem a planta

industrial para os países de médio e baixo desenvolvimento em busca de regulações ambientais mais frágeis.

Os resultados sugerem que os países em diferentes estágios de desenvolvimento econômico adotam estratégias distintas na sua integração às CGVs, o que tem implicações significativas para a sustentabilidade ambiental. A tendência observada nos países desenvolvidos de reduzir a pegada ecológica enquanto diminuem sua participação nas CGVs pode também ser vista como um reflexo de estratégias mais focadas na sustentabilidade e inovação tecnológica. Por outro lado, os países em desenvolvimento parecem seguir uma trajetória que ainda vincula o crescimento econômico ao aumento do impacto ambiental, conforme indicado pela Curva Ambiental de Kuznets

Em síntese, apesar do experimento identificar certo padrão entre o comércio global via CGVs e a degradação ambiental, visto a relação positiva entre as participações nas CGVs e a pegada ecológica em 39 dos 59 países da amostra, o resultado ainda é ambíguo na tentativa de identificar qual hipótese da economia ambiental estamos observando. Sendo assim, à luz da teoria, o próximo capítulo ficará responsável por um experimento empírico de modo a reconhecer se essa nova forma de organização produtiva e comercial via CGVs está relacionada com a pegada ecológica e se nos fornece evidências dos fenômenos da economia da poluição.

### **3. TESTANDO HIPÓTESES AMBIENTAIS COM O COMÉRCIO GLOBAL A PARTIR DE MODELOS LONGITUDINAIS EM DADOS DE PAINEL**

Para esta sessão, o objetivo é realizar um processo estatístico analítico utilizando 57 países da amostra total<sup>1</sup> esquematizado em painel de dados para o mesmo período (2005-2018) buscando evidenciar a relação entre a participação dos países nas CGVs e a Pegada Ecológica. Para examinar o comportamento geral da Pegada Ecológica, foram conduzidas três estimações do tipo log-log, cada uma adotando uma abordagem diferente em relação ao indicador de participação nas Cadeias Globais de Valor (CGVs). Primeiramente, uma regressão foi aplicada considerando o indicador de participação em sua totalidade. Em seguida, outra análise focou exclusivamente na participação para trás. Por fim, a terceira regressão avaliou o impacto da participação para frente, de forma desagregada. Estas abordagens foram realizadas sem diferenciar categorias de países e contaram com o apoio de variáveis de controle, as quais foram selecionadas com base nos fundamentos teóricos abordados e em experimentos empíricos anteriores, como detalhado na seção de revisão bibliográfica do estudo.

Além das análises principais, foram realizadas estimações auxiliares na busca por testar a robustez e sensibilidade dos resultados obtidos, inicialmente com modelos parcimoniosos, abordando os efeitos estilizados propostos por Grossman e Krueger (1991; 1995): escala, composição e tecnologia, e posteriormente, com modelos completos, incorporando variáveis cruciais, como o percentual de uso de recursos renováveis (RE) e não renováveis (NRE). Além disso, estimações auxiliares também foram utilizadas com as mesmas variáveis, porém em sua forma bruta (em nível), ao invés de logarítmicas. Esta abordagem complementar é crucial para captar nuances e efeitos que podem não ser imediatamente aparentes na análise logarítmica, proporcionando uma visão mais rica e detalhada dos mecanismos em jogo. Ao empregar tanto modelos parcimoniosos quanto completos nessa análise paralela, o objetivo é mitigar possíveis limitações inerentes à análise logarítmica e, assim, reforçar a robustez e confiabilidade das conclusões.

Em seguida, as nações da amostra foram divididas em dois grupos: países desenvolvidos, para os que apresentarem alto desenvolvimento (31 países) e países em desenvolvimento para os categorizados em médio-alto, médio-baixo e baixo

---

<sup>1</sup> Devido ao cruzamento das bases para o segundo experimento, a estimação perdeu dois países em sua amostra: Malta e Filipinas.

desenvolvimento (26 países). A partir da reorganização, utilizamos uma variável *dummy* para diferenciar os diferentes efeitos dos países desenvolvidos e países em desenvolvimento e assim poder comparar o resultado com as teorias ambientais.

O método de momentos generalizados (GMM), utilizado também nos trabalhos de Wagner e Timmins (2003) e Hermida *et al.* (2023) para relacionar comércio global e degradação do meio ambiente, foi escolhido com base na estrutura de dados em painel dinâmico disposta com período de 14 anos, o que permite trabalhar com um número maior de observações e redução de perdas. Além disso, o GMM auxilia na melhor consistência assintótica dos estimadores e na identificação das diferenças individuais das variáveis (FLÔRES, 2003).

A seguir encontra-se o detalhamento dos procedimentos metodológicos adotados, seguido dos resultados e discussão.

### **3.1 Metodologia de estimação**

#### *3.1.1 Variáveis utilizadas*

Como variável dependente e variável explicativa de interesse, foram utilizadas, respectivamente, as já mencionadas pegada ecológica e participação nas CGVs, observando o indicador tanto em sua totalidade, como também a participação para frente e a participação para trás de maneira individualizada. No caso das variáveis de controle, foram utilizadas as variáveis descritas no Quadro 3: o produto *per capita* (PIBpc), o percentual de uso de recursos de fontes renováveis (RE), o percentual do uso de recurso de fontes não renováveis (NRE), a qualidade regulatória estimada (Rqest) e o percentual de produtos manufaturados presentes nas exportações de cada países (ME), todos retirados da *World Bank Open Data*.

**Quadro 3: Descrição dos indicadores**

<b>Sigla</b>	<b>Indicador</b>	<b>Fonte</b>
PE	Pegada Ecológica: Soma da degradação ecológica em cada área produtiva	<i>Ecological Footprint Network (2022)</i>
GVC	Participação das Cadeias Globais de Valor: soma das participações para frente e para trás em razão do valor das exportações brutas	<i>TiVA OECD (2022)</i>
Forward	Participação para frente: Valor adicionado contido nas exportações de países terceiros em razão das exportações brutas	<i>TiVA OECD (2022)</i>
Backward	Participação para trás: Valor adicionado estrangeiro presente nas exportações em razão das exportações brutas	<i>TiVA OECD (2022)</i>
GDPpc	Produto per <i>capita</i> em dólar	World Development Indicators (2022)
RE	Uso de energia renovável: percentual do uso de energia renovável em razão do total de energia	World Development Indicators (2022)
NRE	Uso de energia não renovável: percentual do uso de energia de matriz fóssil	World Development Indicators (2022)
ME	Manufaturas Exportadas: Percentual de produtos manufaturados contido nas exportações	World Development Indicators (2022)
RQest	Qualidade Regulatória: Estimativa da qualidade legislativa de um país	Worldwide Bureaucracy Indicators (2022)

Fonte: Elaboração própria.

Inicialmente, no tocante à tese da curva ambiental de Kuznets, o PIBpc em relação à pegada ecológica permite identificar o quesito mais básico da tese que é o aumento ou redução da poluição com relação à renda. Em seguida, a forma encontrada de aferir os efeitos postulados por Grossman e Krueger (1991; 1995) foi a utilização proporcional de recursos renováveis e não renováveis para identificar o efeito tecnológico e o percentual de manufaturas nas exportações como forma de identificar o efeito de composição da produção, assim como realizado por Danish, Ulucak e Khan (2020); Wan et al. (2022); Usman, Makhdum e Kousar (2021).

Já em referência a hipótese de paraíso de poluição, o sistema proposto contava com a transferência da planta suja do país desenvolvido para o país em desenvolvimento, motivado pelo rigor das regulações ambientais e as multas pagas pelas infrações

(TAYLOR *apud* COPEMAN E TAYLOR, 2004). Sendo assim, temos a RQest como indicador de da capacidade dos gestores das nações em desenvolver e aplicar políticas públicas para o desenvolvimento socioeconômico. Sua escala é padronizada em uma normal padrão que vai de -2,5 a 2,5 (THE WORLD BANK, 2023). Como a teoria demonstra, a exportação das plantas produtivas intensivas em poluição pelos países desenvolvidos aumentaria os indicadores nos países de menor desenvolvimento, subtenderia um crescimento do uso de recursos não renováveis em detrimento dos recursos renováveis, comportamento que pode ser identificado pelos indicadores RE e NRE. O contrário pode ser verdadeiro, entretanto identificaremos um caso de hipótese de auréola de poluição.

### 3.1.2 Procedimentos econométricos

A partir da Tabela 3, é possível identificar a disponibilidade e organização dos dados:

**Tabela 3: Estatísticas descritivas**

	<b>Observações</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
EP	798	4.669962	2.299205	0.8641398	16.01231
GVC	798	46.18363	9.102787	24.674	80.06
Backward	798	21.02678	7.651687	8.092	56.885
Forward	798	25.15685	11.5593	2.998	68.162
GDPpc	798	25218.43	22711.09	556.1421	112417.9
RE	798	20.57569	17.47961	0.00001	85.77
NRE	798	76.3109	17.54777	13.05622	100,00
ME	798	58.0893	25.98524	2.010123	97.27158
Rqest	798	0.7491146	0.8659421	-2.273735	2.252235

Fonte: Elaboração própria

Para contornar as variações nas proporções dos indicadores, cada um foi transformado em logaritmandos de um logaritmo natural. Nesta formulação, 'A' representa uma incógnita generalizada, correspondendo a cada variável inclusa no modelo, enquanto 'x' denota o resultado obtido da operação logarítmica. Essa abordagem

normaliza os dados, facilitando a comparação e interpretação dos diferentes indicadores dentro do modelo analítico.

Como forma de identificar possíveis problemas que atrapalhariam a estimação do modelo, testes e avaliações prévias foram realizados a fim de evitar qualquer erro estatístico. Inicialmente, sendo a autocorrelação um problema possivelmente de natureza serial foi feito um operador de defasagem para a variável de pegada ecológica (PE) tendo em vista relacionar a sua dependência presente com as variações passadas em um período:

$$PE_t = \frac{PE_t - PE_{t-1}}{PE_t} \quad (6)$$

Além disso, também foi realizada uma matriz de correlação com as variáveis para entender se as variáveis explicativas utilizadas no modelo poderiam ser contempladas pelas variáveis de controle, retirando assim o efeito da segunda.

Para o problema de multicolinearidade, uma vez existente, pode aumentar a magnitude dos erros padrões e conseqüentemente os torna menos eficientes, sendo assim os intervalos de confiança passam ser muito maiores e o teste  $t$  torna as variáveis estatisticamente mais insignificantes. Para identificação do problema, utilizamos o fator de inflação de variância (VIF). Quanto mais próximo o  $r_i^2$  for de 1, maior será o valor VIF e por sua vez, maior o problema de multicolinearidade. Para alguns pesquisadores, o valor do teste não deve exceder 4 ou 5, o valor dependerá do objeto a ser estudado (MILOCA e CONEJO *apud*. ZILLI, RIBEIRO e HOCHHEIM, 2020).

Para verificar o caráter da série temporal, foi utilizado o teste Dickey-Fuller (ADF). O teste consiste na identificação de uma raiz unitária, ou seja, da série ser estacionária. A detecção da raiz unitária na série implica que suas propriedades estatísticas não mudam ao longo do tempo.

Com a base ajustada e devidamente testada, partiu-se para os modelos "*Two-ways effects Two-steps System GMM*". O método de estimação System GMM é uma técnica utilizada para lidar com problemas de endogeneidade em dados de painel. Uma das estratégias-chave do System GMM é o uso de variáveis defasadas no tempo, o que confere várias vantagens ao processo de estimação. Utilizou-se ainda uma extensão do método de estimação System GMM, *Two-ways effects Two-steps* que permite a inclusão de efeitos fixos de dois sentidos, que é particularmente útil em modelos de dados de painel onde as variáveis independentes podem estar correlacionadas com o termo de erro. De acordo com Fávero e Belfiore (2019) tal abordagem tem como vantagem a possibilidade de

controlar tanto a heterogeneidade inobservável quanto a endogeneidade simultaneamente. Além disso, ele é robusto a erros de especificação e a presença de *outliers*. No entanto, existem desvantagens notáveis nesta técnica. Uma das principais é que o método GMM pode ignorar a dependência transversal, ou seja, não leva em conta as correlações potenciais entre diferentes unidades no painel de dados. Além disso, o método assume que os membros do painel têm coeficientes de inclinação homogêneos, o que pode não ser o caso em muitas situações práticas (Arellano e Bover, 1995, Blundel e Bond, 1998 e Roodman (2009)).

Nesse sentido, foram realizadas inicialmente as seguintes estimações:

1) Participação total

$$\begin{aligned} \log PE_{it} = & \beta_1 \log PE_{it-1} + \beta_2 \log GVC_{it} + \beta_3 \log GDPpc_{it} + \beta_4 \log RE_{it} \\ & + \beta_5 \log NRE_{it} + \beta_6 \log ME_{it} + \beta_7 \log RQest_{it} \end{aligned} \quad (7)$$

2) Participação para frente

$$\begin{aligned} \log PE_{it} = & \beta_1 \log PE_{it-1} + \beta_2 \log FOR_{it} + \beta_3 \log GDPpc_{it} + \beta_4 \log RE_{it} \\ & + \beta_5 \log NRE_{it} + \beta_6 \log ME_{it} + \beta_7 \log RQest_{it} \end{aligned} \quad (8)$$

3) Participação para trás

$$\begin{aligned} \log PE_{it} = & \beta_1 \log PE_{it-1} + \beta_2 \log BACK_{it} + \beta_3 \log GDPpc_{it} + \\ & \beta_4 \log RE_{it} + \beta_5 \log NRE_{it} + \beta_6 \log ME_{it} + \beta_7 \log RQest_{it} \end{aligned} \quad (9)$$

Em suma, o modelo consiste em equiparar um momento a um valor em específico da distribuição, não precisando encontrar parâmetros relativos de cada período, senão, apenas satisfazer uma média amostral (BUENO, 2008, p. 133). Vale dizer, em todas as estimações foram utilizadas como instrumentos as próprias variáveis dependentes defasadas.

Após os resultados do modelo, o passo seguinte foi analisar os últimos testes: O teste Hansen-Sargan, e o teste de Wald. O primeiro se dá para análises da validade de restrições de sobreidentificação em modelos de momentos, a partir da estimação dos parâmetros em uma matriz de variância-covariância dos momentos, aplicado geralmente em ao GMM. Em outras palavras, ele foca nas equações momentâneas possibilitando identificar se de variáveis nos momentos é válida para a estimação dos parâmetros. Estimar um modelo com problema de sobreidentificação, incorre na má estimação dos coeficientes, viés na interpretação do modelo, além de aumentar a sensibilidade de

outliers. Se o teste não atingir um valor crítico, podemos assegurar a hipótese nula de que os momentos instrumentais estão bem especificados (Roodman, D. (2009). Caso contrário, rejeitamos a  $H_0$ .

Já o teste Wald, ele procura identificar se os parâmetros específicos de um modelo são estatisticamente significativos. Ele parte da seguinte equação. Sendo o denominador a condição a ser tratada e o denominador a estimativa da adesão. Se o denominador for igual a 0, significa que não há adesão das variáveis de controle ao modelo. Se o denominador for =1, representa uma adesão perfeita, o coeficiente tem adesão perfeita, pois representa o resultado representa a relação direta com a variável explicativa, já se estiver entre 0 e 1 o estimador representa adesão imperfeita e quanto mais distante de 0 ele estiver melhor será a sua adesão ao modelo.

### *3.1.3 Modelos auxiliares*

Duas outras modelagens para fins de avaliar robustez e sensibilidade das estimações. A primeira observa as variáveis em nível, com o propósito de enxergar claramente o efeito da GVC em relação à PE para cada forma de participação nas cadeias, de maneira a identificar nuances escondidas pela aplicação do logaritmo. A segunda analisa a relação entre a Pegada Ecológica e a participação nas Cadeias Globais de Valor (GVCs), uma variável de interação foi construída. Esta variável combina a soma das participações nas GVCs com uma variável dummy que representa o grau de desenvolvimento dos países. Essencialmente, a variável dummy é designada para diferenciar os países com base em seu nível de desenvolvimento econômico. Ela assume o valor de 1 para países categorizados como de baixo desenvolvimento, médio baixo e médio alto desenvolvimento, abrangendo um total de 26 países. Por outro lado, para os países classificados como de alto desenvolvimento, que somam 31 nações, a variável dummy é atribuída o valor de 0. Essa construção permite uma análise mais detalhada do impacto do nível de desenvolvimento de um país em sua pegada ecológica em relação à sua participação nas GVCs.. Três estimações foram realizadas a partir da identificação do desenvolvimento: Modelo completo em log, modelo completo em nível e modelo parcimonioso em nível.

Optou-se por testar a utilização de modelos parcimoniosos, excluindo as variáveis de uso de energias renováveis (RE) e energias fósseis (NRE), justificada pela busca de

simplicidade e foco, facilitando a identificação das relações mais significativas e evitando a complexidade que poderia mascarar interações chave ou introduzir multicolinearidade. Assim enquanto os modelos completos, de maneira elementar, mantiveram todas as variáveis propostas pela tabela 3 e pelas equações (8), (9) e (10), os modelos parcimoniosos contaram com a retirada das variáveis de uso de energias renováveis (RE) e do uso de energias fósseis (NRE).

Para avaliar as variações considerando a variável dummy de desenvolvimento nas CGV (*GVC\_devel*), foram conduzidas três análises distintas, cada uma fundamentada no grau de desenvolvimento identificado. Estas consistiram em: um modelo completo na forma logarítmica, um modelo completo com variáveis em sua forma original (em nível), e um modelo parcimonioso, também em nível.

## **3.2 Resultados e discussão**

### *3.2.1 Análise primária*

Inicialmente, a matriz de correlação das variáveis, como pode ser identificada na Tabela B, presente no apêndice, a pegada ecológica está fortemente e positivamente relacionada à sua própria história temporal (PE-1), o que sugere que sua história do período passado implica diretamente em seu indicador em relação ao tempo, e ao Produto Interno Bruto per capita (GDPpc), ou seja, os países com maior produção econômica per capita tendem a ter uma pegada ecológica mais alta.

A matriz também apresenta uma relação inversa e moderada entre a pegada ecológica e as energias renováveis, o que sugere que países com maior participação de energias renováveis em sua matriz energética podem ter uma pegada ecológica menor. Ademais, há ainda uma forma mais fraca e positiva relação com as energias não renováveis (NRE) e com a participação de manufaturados na economia. Por fim, nota-se uma relação forte e positiva com a qualidade regulatória estimada, ou seja, países com melhores indicadores em termos de qualidade regulatória estão relacionados com maiores pegadas ecológicas.

Em seguida, para o problema de multicolinearidade, quando aplicado o teste VIF (Tabela C, apêndice), os resultados indicaram que a multicolinearidade não é alta e é aceitável, com valores VIF abaixo de 5 para todas as variáveis. O mesmo se segue para o teste ADF. Todos os testes ADF apresentam p-valor menor que 0,05, ou seja, sugerem a

rejeição da hipótese nula, o que significa que todas as variáveis são estacionárias. Isso implica que as séries temporais dessas variáveis não possuem raiz unitária e são consideradas estacionárias em seus níveis.

Testada e ajustada a base, as equações funcionais foram estimadas para o logaritmo da soma das participações do GVC e para o logaritmo da desagregação das participações em “*Forward*” e “*Backward*”, apresentado os seguintes resultados da Tabela 4.

Observando os testes para os três modelos, observamos que teste de Hansen–Sargan de restrições sobreidentificadas não rejeita a validade dessas restrições para nenhum deles ( $p_{GVC} = 0.693$ ;  $p_{For} = 0,841$ ;  $p_{Back} = 0,831$ ), indicando que os modelos são apropriados. O teste de autocorrelação nos resíduos mostra sinais de autocorrelação de primeira ordem, mas não de segunda ordem ( $p_{GVC} = 0.753$ ;  $p_{For} = 0,744$ ;  $p_{Back} = 0,725$ ), rejeitando a possibilidade de autocorrelação serial nos resíduos de todos os modelos. O teste de Wald para os coeficientes foi altamente significativo para todos os modelos ( $p < 2.22e-16$ ), indicando que pelo menos uma das variáveis explicativas é relevante. O teste de Wald para os efeitos fixos temporais também é significativo ( $p_{GVC} = 5.42e-10$ ;  $p_{For} = 2.3906e-15$ ;  $p_{Back} = 6.8795e-14$ ), indicando a presença de variações temporais não explicadas nas formulações.

**Tabela 4: Resultados das estimações – modelos log-log SYS GMM**

<i>Variável Dependente:</i>  <i>log PE</i>	System GMM		
	1	2	3
Log PE-1	0.756*** (0.079)	0.775*** (0.067)	0.792*** (0.050)
Log GVC	0.093*** (0.030)		
Log Forward		0.035* (0.020)	
Log Backward			-0.011 (0.017)
Log GDPpc	0.081** (0.032)	0.077*** (0.029)	0.067*** (0.024)
Log RE	-0.005 (0.004)	-0.008* (0.005)	-0.008* (0.004)
Log NRE	0.039* (0.021)	0.039* (0.021)	0.048*** (0.018)
Log ME	-0.001 (0.008)	-0.011 (0.010)	0.002 (0.007)
Log Rqest	0.009 (0.013)	0.005 (0.011)	0.015 (0.013)
Observações	741	741	741
Sargan test (p-valor)	0.693	0.841	0.831
AR(2)	0.753	0.744	0.725
Wald test (p-valor)	0.000	0.000	0.000

**Notas: \*p<0.1; \*\*p<0.05; \*\*\*p<0.01**

Fonte: Elaboração própria

Para o modelo com a soma das participações, temos que o coeficiente para a variável defasada da pegada ecológica é positivo e significativo a um nível de confiança muito elevado ( $p < 0.001$ ), indicando uma forte persistência ao longo do tempo. O total da participação na GVC apresenta um coeficiente positivo significativo ( $p = 0.002$ ), sugerindo uma associação positiva com a pegada ecológica. O Produto Interno Bruto *per capita* também possui um coeficiente positivo significativo ( $p = 0.011$ ), indicando uma relação positiva entre o desenvolvimento econômico per capita e a pegada ecológica. A variável NRE (Participação de Energias Não Renováveis) apresentou significância a 10% e se mostra positivamente relacionada com a pegada ecológica. Entretanto, as variáveis, RE (Participação de Energias Renováveis), ME (Exportações de Manufaturados) e RQest (Qualidade regulatória), não apresentam associações significativas com a pegada ecológica.

Os resultados do modelo com a participação para frente também apontam para a importância de variáveis como a defasagem da pegada ecológica, o PIB per capita e a variável NRE na explicação da pegada ecológica atual. O coeficiente da defasagem da pegada ecológica é significativo ( $p < 2.2e-16$ ), sugerindo que há uma relação positiva com a pegada ecológica atual. O coeficiente da participação nas CGVs foi estatisticamente significativo a 10% ( $p = 0.072883$ ), indicando que a forma de participação para frente nas CGV, como produtora de insumos e bens intermediários enviados para países terceiros amplia a pegada ecológica dos países. O coeficiente do PIB *per capita* também é significativo ( $p = 0.007802$ ), sugerindo uma relação positiva significativa entre o Produto Interno Bruto per capita e a pegada ecológica. O coeficiente de Recursos Renováveis foi estatisticamente significativo a 10% e apresentou sinal negativo, demonstrando que um aumento do uso de recursos renováveis contribui para reduzir a pegada ecológica. E de forma contrária o consumo de energia não renovável contribui por ampliar a pegada ecológica, com significância também a 10%.

Entretanto, no modelo com a participação para trás, o coeficiente da variável explicativa não apresentou significância estatística ( $p = 0.517505$ ), sugerindo que apenas a participação por trás nas CGV, como importador de insumos estrangeiros produzidos no resto do mundo não tem um impacto significativo na pegada ecológica atual de um país. O coeficiente de defasagem da pegada ecológica, assim como nos outros modelos, é altamente significativo ( $p < 2.2e-16$ ), indicando uma relação positiva significativa entre a pegada ecológica atual e sua defasagem. O coeficiente de PIB *per capita* também é significativo ( $p = 0.004276$ ), indicando uma relação positiva significativa entre o Produto

Interno Bruto per capita e a pegada ecológica. Da mesma forma que nos modelos anteriores, há significância a 10% das variáveis de recursos renováveis (negativo) e não renováveis (positivo). O teste de Hansen–Sargan não rejeita a validade das restrições sobre-identificadas ( $p = 0.8309$ ), indicando que o modelo é apropriado.

De modo geral, podemos identificar que as participações nas CGVs têm relação positiva com a pegada ecológica, ou seja, à medida que os países participam mais do comércio internacional, maior o seu nível de degradação. De antemão, o resultado vai de encontro com o experimento de Xu, Li e Wang (2021) dado que a participação, neste caso, não está apenas sendo comparada para a atividade agrícola, se não para toda a gama de produção industrial dentro do comércio internacional. O comportamento das variáveis de controle que apresentaram significância estatística, corroboram com a literatura estudada, dado que o aumento do uso de energia limpa reduz a pegada, assim como o uso de combustíveis fósseis aumentam a degradação ( DANISH, ULUCAK e KHAN, 2020; USMAN, MAKHDUM e KOUSAR, 2021; WAN et al., 2022 ). Além disso, o fato da poluição comportar-se diretamente proporcional à renda *per capita* também estaria em consonância com Grossman e Krueger (1991; 1995), visto que, inicialmente, esta relação dialoga apenas com o efeito escala e com os momentos iniciais da curva de Kuznets ambiental.

### 3.2.2 Estimações auxiliares

Como é possível observar na Tabela 5, os modelos parcimoniosos revelam que a participação nas CGVs possui relação significativo e positivo na pegada ecológica. Esse efeito se mantém robusto nas abordagens *forward* e *backward*, destacando a relevância do envolvimento em cadeias produtivas globais para as pressões ambientais. Além disso, o PIB per capita (GDPpc) apresenta uma relação positiva e significativa, sugerindo que economias mais desenvolvidas podem ter uma maior pegada ecológica. Nos modelos completos, a participação nas CGV, embora continue positiva, demonstra uma relação menos expressiva com a pegada ecológica. Essa constatação sugere que, ao considerar as fontes de energia, os efeitos diretos da participação nas CGV podem ser atenuados.

**Tabela 5: Resultados das estimações auxiliares: modelos parcimoniosos e modelos completos com variáveis em nível**

*Variável Dependente: log PE*

	Modelos parcimoniosos			Modelos completos		
	GVC	Forward	Backward	GVC	Forward	Backward
PE-1	0.920*** (0.014)	0.962*** (0.011)	0.949*** (0.015)	0.928*** (0.017)	0.954*** (0.014)	0.945*** (0.016)
GVC	0.006*** (0.001)	0.005*** (0.001)	0.006*** (0.002)	0.006*** (0.002)	0.003** (0.001)	0.004** (0.002)
GDPpc	0.000* (0.000)	0.000* (0.000)	0.000* (0.000)	0.000* (0.000)	0.000* (0.000)	0.000 (0.000)
ME	-0.001 (0.001)	-0.001 (0.001)	0.001* (0.000)	-0.002* (0.001)	-0.001 (0.001)	0.000 (0.001)
RQest	0.095** (0.044)	0.046 (0.030)	0.068* (0.037)	0.110** (0.045)	0.024 (0.030)	0.038* (0.041)
RE				-0.000 (0.001)	0.001 (0.001)	0.000 (0.001)
NRE				0.001 (0.001)	0.001*** (0.001)	0.001 (0.001)
Observações	741	741	741	741	741	741
Instrumentos	399	486	412	412	486	540
<i>Sargan test (p-valor)</i>	0.100	0.025	0.017	0.010	0.190	0.205
<i>AR(2)</i>	0.633	0.633	0.635	0.635	0.631	0.631

Notas: \*p<0.1; \*\*p<0.05; \*\*\*p<0.01

Fonte: Elaboração própria.

O efeito composição (ME), que representa a parcela de manufaturados no PIB, revela um impacto negativo significativo na pegada ecológica nos modelos parcimoniosos. Já, diferentemente do que constata Taylor no estudo da “hipótese de paraíso poluidor” (2004), o avanço na qualidade regulatória (RQest) apresenta um efeito

positivo e significativo, indicando que melhorias regulatórias podem aumentar a pegada ecológica.

Ao comparar esses resultados das estimações auxiliares com os modelos principais da seção anterior, observamos que os coeficientes e significâncias da variável participação nas CGVs mantêm-se consistente, corroborando a robustez dos achados. Esse achado está alinhado com os estudos de Grossman e Krueger (1995), Peter e Hertwich (2006), Solarin et al. (2017), Wagner e Timmins (2008) que destacam os desafios ambientais associados à intensificação das atividades produtivas do comércio global, nesse caso, na figura das cadeias globais de valor, o que sugere que países mais integrados a essas cadeias podem experimentar aumentos proporcionais da sua respectiva degradação ambiental.

Quando desagregadas as formas específicas de participação, observamos diferenças nos resultados. No contexto dos modelos em log, onde as variáveis dependentes e independentes são transformadas pelo logaritmo natural, observamos que os coeficientes são elásticos em relação às variáveis. Por exemplo, no modelo em log para "Log GVC," um aumento de uma unidade no logaritmo da participação nas CGV está associado a um aumento de 0,093 na pegada ecológica, mantendo as outras variáveis constantes. Ao analisar os modelos em nível, no modelo para "GVC," um aumento de uma unidade na participação nas CGV está associado a um aumento de 0,006 nas emissões de poluentes.

Comparando os sinais e as significâncias das variáveis de interesse, como "GVC", "Forward," e "Backward," notamos que os padrões gerais se mantêm consistentes entre os modelos em log e em nível. Por exemplo, em ambos os casos, a participação nas CGV ("GVC") está associada a aumentos na pegada ecológica. No entanto, no que tange à participação para trás o resultado difere, uma vez que passa a apresentar significância estatística e sinal positivo tanto na estimação mais parcimoniosa como na completa. Isso sugere que, ao considerar um conjunto mais restrito de variáveis, a importação de insumos e componentes nas CGV está associada a um aumento nas emissões de carbono. Isto é, a importação de insumos, embora possa contribuir para a eficiência e especialização na produção, também pode estar associada a impactos ambientais adversos, contribuindo para um aumento na pegada ecológica.

Ademais, a inclusão de variáveis adicionais nos modelos completos, como o percentual de uso de recursos renováveis (RE) e não renováveis (NRE), destaca o efeito tecnológico, proposto por Grossman e Krueger (1991; 1995), cujo maior uso das matrizes

energéticas renováveis representam o elevado patamar do progresso técnico e da preocupação com o meio ambiente, comportamento esperado pelos países desenvolvidos. Os resultados obtidos estão de acordo com os estudos antecessores e com o resultado em Log obtido no experimento anterior, justamente por indicar que o uso de recursos não renováveis está positivamente associado à pegada ecológica.

Partindo para a análise com a variável de interação entre a *dummy* de desenvolvimento e a participação agregada nas CGVs (Tabela 6), inicialmente, o Sargan test não há evidências suficientes para rejeitar a validade dos instrumentos em nenhum dos modelos. O teste AR(2) indica a ausência de autocorrelação serial nos resíduos.

Ao examinar as estimativas dos coeficientes, conforme a Tabela 6, a variável de interação *GVC\_devel* mostra-se significativa e positiva em todos os modelos, sugerindo que o impacto da participação nas CGVs na pegada ecológica varia de acordo com o nível de desenvolvimento dos países. Em outras palavras, a relação entre a exaustão dos recursos naturais ligada às CGVs e suas consequências ambientais varia entre países com diferentes graus de desenvolvimento (COLE, 2003)

O coeficiente positivo indica que, para países com baixo desenvolvimento ou desenvolvimento médio baixo, o aumento na participação nas CGVs está associado a um aumento adicional na pegada ecológica conforme identificados por Zhang e Liu (2023). Esse impacto positivo sugere que, em países menos desenvolvidos, a integração nas CGVs pode estar relacionada a práticas econômicas que resultam em maior pressão sobre os recursos naturais e maior emissão de poluentes.

Considerando o modelo em nível como exemplo, o coeficiente de *GVC\_devel* é de 0.004. Isso indica que, para países menos desenvolvidos, cada incremento unitário na participação nas GVC está associado a um aumento adicional de 0.004 na pegada ecológica, mantendo constantes as demais variáveis do modelo. Essa magnitude é significativa, uma vez que reflete a sensibilidade da pegada ecológica às mudanças na participação nas CGVs em contextos de menor desenvolvimento. O intervalo de confiança associado a esse coeficiente, indicado pelos valores entre parênteses, permite afirmar que esse aumento adicional é estatisticamente significativo, reforçando a importância desse resultado.

**Tabela 6: Resultados das Estimacões com Interação entre a Participao nas Cadeias Globais de Valor e o Nível de Desenvolvimento dos Países**

<i>Variável Dependente: log PE</i>	Modelo em Log	Modelo em nível	Modelo em nível com RE e NE
PE-1	0.953*** (0.006)	0.968*** (0.001)	0.948*** (0.016)
GVC	0.003 (0.003)	0.007*** (0.002)	0.006*** (0.001)
GVC_devel	0.002*** (0.001)	0.003*** (0.000)	0.004** (0.002)
GDPpc	0.030** (0.012)	0.000*** (0.000)	0.000* (0.000)
ME	-0.012 (0.027)	-0.000 (0.000)	0.001 (0.002)
RQest	0.025 (0.021)	0.038*** (0.010)	0.013 (0.028)
RE	0.001 (0.007)		0.000 (0.002)
NRE	0.016 (0.033)		0.002*** (0.001)
Observaoes	578	741	741
Instrumentos	48	57	57
<i>Sargan test (p-valor)</i>	0.500	0.396	0.226
<i>AR(2)</i>	0.621	0.883	0.635

Notas: \*p<0.1; \*\*p<0.05; \*\*\*p<0.01

Fonte: Elaboraco própria.

À luz da literatura, com relação às hipóteses de paraíso poluidor e de halo de poluição, não foi possível identificar nenhuma evidência plausível que as contemplem, tendo em vista que os resultados demonstraram que a degradação ambiental via comércio internacional cresceu, tanto para as nações desenvolvidas, como para as de menor desenvolvimento. Outro fator que corrobora com o resultado inconclusivo foi, nos momentos em que o indicador de qualidade regulatória (RQest) demonstrou-se significativo, foi identificado uma relação positiva com a pegada ecológica, o que iria completamente de encontro com os postulados teóricos analisados, demonstrando que o modelo e as variáveis não foram eficazes para analisar tal fenômeno.

Entretanto, os resultados corroboram com os apontamentos de que a globalização produtiva via a participação em CGVs pode intensificar a pressão ambiental, especialmente em países menos desenvolvidos. A curva ambiental de Kuznets também pode estar presente, indicando que, inicialmente, o crescimento econômico associado à participação nas CGVs pode resultar em maior impacto ambiental, mas à medida que os países se desenvolvem, estratégias e políticas mais sustentáveis podem ser adotadas, revertendo essa tendência reverberando toda a questão dos efeitos ocorridos pelo crescimento econômico: o efeito escala, efeito técnico e o efeito composição, descritos por Grossman e Krueger (1991; 1995).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho que se seguiu teve como objetivo a investigação dos processos estilizados da exaustão dos recursos naturais, na figura do indicador da Pegada Ecológica, em relação ao comércio internacional de produção fragmentada, representado pela participação nas cadeias globais de valor, caracterizada como para frente e para trás e, a partir disso, examinar se é possível identificar efeitos da teoria da economia ecológica para diferentes níveis de desenvolvimento. Para tanto, o estudo partiu da revisão bibliográfica norteadora dos pressupostos teóricos e dos experimentos empíricos já realizados sobre a temática. Em seguida, dois processos empíricos foram realizados a fim da investigação dos efeitos ambientais causados pelo comércio internacional: (i) uma análise de *cluster k-means* de 59 países no período de 2005-2018, com objetivo da identificação de grupos com características e trajetórias similares a respeito do desempenho comercial e ambiental e (ii) um modelo *GMM-System* para dados em painel, utilizando uma amostra de 57 países para o mesmo período de tempo, que contou não só com o efeito das cadeias globais de valor em relação à pegada ambiental, como também com a interação de variáveis auxiliares: produto *per capita*, qualidade regulatória, percentual de manufaturas exportadas, percentual do uso de energias renováveis e percentual do uso de energia derivada de matriz fóssil.

A princípio, os resultados obtidos por meio da análise dos *clusters* proporcionam importantes considerações sobre o direcionamento dos países em relação à produção sustentável, considerando seu nível de inserção nas CGVs. A teoria conta que os países com maior grau de desenvolvimento econômico e tecnológico tendem a adotar uma abordagem mais sustentável, reduzindo a emissão de poluentes. Entretanto, a análise aponta que para que os países de maturidade produtiva e tecnológica logrem tal feito, é necessária uma saída das CGVs. Ou seja, sugere que a participação na produção globalizada e a sustentabilidade ambiental são inversamente proporcionais. Ainda, de acordo com a metodologia da coleta de dados da participação nas cadeias produtivas, é possível teorizar sobre a possibilidade da “hipótese de paraíso poluidor”, tendo em vista que, a exportação da planta fabril de uma multinacional também transfere o dado de participação para o país que recebeu o investimento. Sendo assim, uma opção para estudos futuros é investigar se os países desenvolvidos estão de fato exportando suas plantas com finalidade de mascarar a redução de sua poluição, ou estariam num caminho de nacionalizar a produção a partir da inovação tecnológica verde. Além disso, para os

países de menor desenvolvimento, as trajetórias encontram-se de maneira mais mistas, o que pode apontar para diferentes processos evidenciados na curva ambiental de Kuznets.

No entanto, é importante reconhecer as limitações da abordagem de *cluster* nesse caso. A análise por *clusters* agrupa países com base em certas características, mas não leva em consideração nuances individuais e contextos específicos de cada nação. Para estudos futuros, seria interessante explorar os mecanismos específicos pelos quais a participação nas CGVs influencia a redução da Pegada Ecológica. Isso poderia envolver análises mais detalhadas que avaliem o perfil de participação nas CGVs ou as atividades produtivas desenvolvidas, uma vez que países desenvolvidos e em desenvolvimento historicamente participam de etapas distintas. Os primeiros, em atividades mais intangíveis e os segundos em etapas de manufatura. Além disso, é fundamental compreender as políticas de sustentabilidade adotadas pelos países, bem como a avaliação dos impactos de regulamentações ambientais nas decisões de inserção nas CGVs.

Para o segundo experimento, todos os resultados indicaram que a participação nas CGVs influencia a pegada ecológica positivamente. A literatura destaca que o envolvimento em cadeias globais de produção pode resultar em externalidades ambientais, especialmente quando as etapas de produção intensivas no uso de recursos naturais ocorrem em países com regulamentações ambientais mais frouxas. A relação positiva entre o PIB per capita e a pegada ecológica destaca o desafio de reconciliar o desenvolvimento econômico com a sustentabilidade ambiental. É crucial adotar abordagens que descompliquem o crescimento econômico do aumento na utilização de recursos e na emissão de poluentes. A associação negativa entre a participação de Recursos Renováveis e a pegada ecológica ressalta a importância de investir em fontes sustentáveis de energia para reduzir o impacto ambiental. Por outro lado, a contribuição positiva de Recursos Não Renováveis destaca a necessidade de transição para fontes mais sustentáveis.

Por outro lado, apesar dos resultados obtidos, as limitações do modelo SYSTEM-GMM se tornaram evidentes durante a análise, destacando a necessidade de considerar alternativas para futuros estudos relacionados a essa relação. Uma das principais limitações é a sensibilidade desse modelo à presença de outliers e à inclusão ou exclusão de variáveis explicativas, o que pode levar a estimativas instáveis e imprecisas. Diante dessas limitações, para abordá-las de forma mais eficaz, é recomendável considerar a adoção de modelos estatísticos mais robustos, como modelos de séries temporais aplicados a dados de painel, visando aprimorar a confiabilidade das análises futuras..

Ademais, para a melhor investigação das teorias ambientais a partir da estimação estatísticas, recomenda-se substituir a variável de qualidade regulatória por alguma outra que esteja relacionada apenas às regulamentos ambientais, os custos pagos por multas ambientais e a adicionar outros indicadores que permitam visualizar o fluxo de investimento direto externo de cada nação. Adicionalmente, é relevante considerar a possibilidade de realizar estimativas para subamostras de países segmentadas com base em seus níveis de desenvolvimento em estudos subsequentes. Essa abordagem pode ser de grande valia, uma vez que permite uma análise mais detalhada e estratificada dos dados, fornecendo insights específicos para diferentes grupos de países. Em suma, encontrar um equilíbrio entre o progresso econômico, a conservação ambiental e a integração nas CGVs é uma tarefa desafiadora para os países. Estratégias políticas que encorajem a adoção de tecnologias limpas e práticas sustentáveis nas indústrias podem desempenhar um papel fundamental na redução da Pegada Ecológica, especialmente em nações em desenvolvimento. Além disso, a implementação de regulamentações e acordos internacionais que estimulem práticas responsáveis ao longo das CGVs tem o potencial de ser uma estratégia eficaz para promover a produção sustentável em âmbito global. No entanto, é crucial reconhecer que os países em desenvolvimento frequentemente estão localizados nas CVGs em processos de exploração massiva de recursos naturais e de industrialização intensiva em poluição, derivada das atividades primárias. Diante dessa dinâmica, é natural que esses países ainda enfrentem desafios significativos na redução de suas emissões. Como tal, as políticas de sustentabilidade precisam levar em conta a complexidade dessa interdependência global e considerar mecanismos que envolvam responsabilidades compartilhadas. Isso pode incluir estratégias para que os países desenvolvidos também compartilhem a responsabilidade pelas emissões associadas às atividades terceirizadas, promovendo um cenário mais equitativo e alinhado com os objetivos de sustentabilidade globais.

## REFERÊNCIAS

- ALVARADO, R; et al. Ecological footprint, economic complexity and natural resources rents in Latin America: empirical evidence using quantile regressions, 2021. *Journal of Cleaner Production*, 318, 128585. 2021.
- ARELLANO, M., & BOVER, O. Another look at the instrumental variable estimation of error-components models. **Journal of Econometrics**, 68(1), 29-512. 1995
- Blundell, R., & Bond, S. Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models. **Journal of Econometrics**, 87(1), 115-1433. 1998.
- BUENO, Rodrigo de Losso da Silveira. **GMM**. Econometria de Séries Temporais. Cengage Learning, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, São Paulo, 2008, p. 133 - 155.
- CÁNEPA, Eugênio M. Economia da Poluição. **Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática**. 2ª Ed. Elsevier, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010: May, p. 79 - 98.
- CARVALHO, Ticiane S.; ALMEIDA, Eduardo. **A Hipótese da Curva de Kuznets Ambiental Global: Uma perspectiva econométrico-espacial**. 2010. *Est. Econ.*, v. 40, n. 3, p. 587 – 615, 2010
- CAVALCANTI, Clovis. **Concepções de Economia Ecológica: Suas relações com a economia dominante e a economia ambiental**. 2010. *Estudos Avançados*, v. 68, n. 24, p. 53 – 67. 2010.
- CECHIN, Andrei; DA VEIGA, José E. O Fundamento Central da Economia Ecológica. **Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática**. 2ª Ed. Elsevier, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- CIDIN, Renata da Costa Pereira Jannes; da SILVA, Ricardo Siloto. **Pegada Ecológica: Instrumento de avaliação dos impactos antrópicos no meio natural**. 2004 – UFScar, São José do Rio Preto, 2004.
- COLE, M. A. **Trade, the pollution haven hypothesis and the environmental kuznets curve: examining linkages**, 2003. *Ecological Economics*, 48, p. 71 - 81. 2004.
- COSTA, Márcio Jorge Porangaba. **Trajatória do Desenvolvimento: Da ênfase do crescimento econômico às expectativas de desenvolvimento sustentável**. Maria Cecília Junqueira Lustosa: 2006. 247 f. Tese (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.
- DANISH, D.; KHAN, S.; MAKHDUM, R. **Determinants of the ecological footprint: role of renewable energy, natural resources, and urbanization**, 2020. *Sustain Cities Soc* 54:101996.

- ERNESTO, Paulo e LINHARES, Fabrício. **Existe uma curva de Kuznets?** Uma Análise para os Dados Nordestinos sob a Perspectiva do Model Averaging. 2013 – UFC, Fortaleza, Ceará. 2013.
- FÁVERO, Luiz Paulo. Análise de Agrupamentos. **Manual de Análise de Dados:** Estatística e Modelagem Multivariada com Excel®, SPSS® e Stata®. 1ª Ed. Elsevier, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.
- FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P. P. **Econometria Avançada com Aplicações em Excel.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2019.
- GALLI, A. et al. **Ecological Footprint Accounting for Countries:** Updates and results of the national footprint account, 2012 - 2018. MDPI Resources, n. 8, 58. 2018.
- GROSSMAN, G. M. e KRUEGER, A. B. **Environmental impacts of a North American free trade agreement.** NBER Working Papers, n. 3914, p. 57, 199.
- GROSSMAN, Gene M.; KRUEGER, Alan B. **Economic growth and the environment.** The quarterly journal of economics, v. 110, n. 2, p. 353-377, 1995.
- GUO, M. e LIU, Y. **The impact of FDI on haze pollution:** “Pollution paradise” or “pollution halo?” Spatial analysis of PM2.5 concentration raster data in 283 cities. Frontiers, v. 11, n. 1, p. 1-11, março, 2023.
- HEMIDA; Camila do Carmo. **Padrão de Especialização e crescimento econômico:** Uma análise sobre o Brasil no contexto da fragmentação da produção nas cadeias globais de valor. Clésio Lourenço Xavier: 2016. 290 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Econômico) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.
- JAVORCIK, B. S. e WEI, S. J. **Pollution Havens and Foreign Direct Investment:** Dirty Secret or Popular Myth?. 2004. Advances in Economic Analysis & Policy, Vol 4, Iss. 2, Art. 8, 2004.
- LEMA, Rasmus; PIETROBELLI, Carlo; RABELLOTTI, Roberta; VEZZANI, Antonio. **Deepening or delinking?** Innovative capacity and global value chain participation in the ICT sectors. 2021. Maastricht Economic and social Research institute on Innovation and Technology. 2021.
- PETERS, Glen P.; HERTWICH, Edgar G. **Pollution embodied in trade:** The Norwegian case. Global Environmental Change, v. 16, n. 4, p. 379-387, 2006.
- Roodman, D. A Note on the Theme of Too Many Instruments. Oxford Bulletin of Economics and Statistics, 71(1), 135-1584, 2009.

- ROMEIRO, Ademar R. Economia ou Economia Política da Sustentabilidade. **Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática**. 2ª Ed. Elsevier, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010: May, p. 3 - 32.
- SOLARIN, S. A., AL-MULALI, U., MUSAH, i. OZTURK, I. **Investigating the pollution haven hypothesis in Ghana: An empirical investigation**. 2016. *Energy*, vol. 124, p. 706 - 719. 2017.
- TAYLOR, M. S. **Unbundling the Pollution Haven Hypothesis**, 2004. *Advances in Economic Analysis & Policy*, Vol 4, Iss. 2, Art. 8, 2004.
- USMAN, M., MAKHDUM, M. S. A., & KOUSAR, R. **Does financial inclusion, renewable and non-renewable energy utilization accelerate ecological footprints and economic growth? Fresh evidence from 15 highest emitting countries, 2021**. *Sustainable cities and society*, 65, 102590.
- WAGNER, U. J.; TIMMINS C. D. **Agglomerations Effects in Foreign Directs Investment and the Pollution Haven Hypothesis**. 2008. *Environmental and Resources Economics*, Vol. 43, p. 231 - 256. 2009.
- XU, Y., LI, C., & WANG, J. **How does agricultural global value chain affect ecological footprint? The moderating role of environmental regulation, 2023**. *Sustainable Development*.
- YILANCI, V.; CUTCU, I.; CAYIR, B.; SAGLA, M. S. **Pollution haven or pollution halo in the fishing footprint: Evidence from Indonesia. 2023**. *Marine pollution Bulletin*, Vol. 188, 114626. 2023.
- YOUNG, Carlos E. F. Contabilidade Social Ambiental **Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática**. 2ª Ed. Elsevier, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010: May, p. 133 - 162.
- ZHANG, Guimei; LIU, Guangyue. **Does Global Value Chain Embedment Contribute to Environmental Pollution in Emerging Economies?.** *Sustainability*, v. 15, n. 2, p. 1031, 2023.
- ZILLI, Carlos A.; RIBEIRO, Murilo D.; HOCHHEIM Noberto. **Aplicação do Teste de Farrar-Glauber para Análise de Multicolineariedade Em Regressões Lineares**. 2020, COBREAP - IBAPE Nacional, Salvador – BA, 2020.

## APÊNDICE

**Tabela A: Países que compõem a análise de *cluster* por nível de desenvolvimento**

<b>Alto desenvolvimento</b>	<b>Médio-alto desenvolvimento</b>	<b>Médio-baixo desenvolvimento</b>	<b>Baixo desenvolvimento</b>
Singapura	Israel	Indonésia	Camboja
Latvia	Argentina	República Democrática de Lao	Myanmar
Austrália	Chile	Filipinas	
Áustria	China	Índia	
Bélgica	Cazaquistão	Marrocos	
Brunei Darussalam	Malásia	Viet Nam	
Canadá	África do Sul		
Croácia	Tailândia		
Cyprus	Bulgária		
Dinamarca	Colômbia		
Finlândia	México		
França	Tunísia		
Alemanha	Brasil		
Grécia	Estonia		
Irlanda	Lituânia		
Itália	Peru		
Japão	Romênia		
Luxemburgo	Rússia		
Malta	Turquia		
Holanda			
Nova Zelândia			
Noruega			
Portugal			
Eslovênia			
Espanha			
Suécia			
Suiça			
Reino Unido			
Estados Unidos da América			
Polónia			
Arábia Saudita			
Eslováquia			

Fonte: Elaboração própria

**Tabela B: Matriz de correlação das variáveis do modelo**

	PE	PE-1	GVC	GDPpc	RE	NRE	ME	Rqest
PE	1,00	0,99	0,37	0,80	-0,37	0,14	0,08	0,71
PE-1	0,99	1,00	0,35	0,81	-0,37	0,14	0,08	0,71
GVC	0,37	0,35	1,00	0,28	-0,15	0,03	0,20	0,25
GDPpc	0,80	0,81	0,28	1,00	-0,18	0,06	0,15	0,76
RE	-0,37	-0,37	-0,15	-0,18	1,00	-0,66	-0,14	-0,32
NRE	0,14	0,14	0,03	0,06	-0,66	1,00	-0,08	0,08
ME	0,08	0,08	0,20	0,15	-0,14	-0,08	1,00	0,22
Rqest	0,71	0,71	0,25	0,76	-0,32	0,08	0,22	1,00

Fonte: Elaboração própria

**Tabela C: Teste VIF**

	PE-1	GVC	GDPpc	RE	NRE	ME	RQest
VIF	2,94037	1,24977	3,57557	2,36769	1,97372	1,19119	2,733

Fonte: Elaboração própria