

CONSELHO REGIONAL DE ECONOMIA – CORECONPR

34º PRÊMIO PARANÁ DE MONOGRAFIA

**TÍTULO: UM ESTUDO A RESPEITO DA COMPLEXIDADE ECONÔMICA SOB O
CONTEXTO AMBIENTAL: UMA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS PAÍSES
DOS BRICS DE 2009 A 2020.**

PSEUDÔNIMO DO AUTOR: Gabriel Andrade

CATEGORIA:

ECONOMIA PARANAENSE ()

ECONOMIA PURA OU APLICADA (X)

RESUMO

Investigar a evolução das estruturas produtivas em resposta às mudanças climáticas é de suma importância, pois proporciona um entendimento crucial para orientar práticas empresariais e políticas públicas que visem à sustentabilidade. Assim, essa pesquisa propõe avaliar o impacto da complexidade econômica nas emissões de CO₂ para o período de 2009 a 2020 nos países do BRICS. Para isso, é feita uma contextualização a respeito da literatura que relaciona o Índice de Complexidade Econômica a uma série de variáveis ambientais e uma exposição das características do grupo de países estudado. Em conjunto, é sugerido um modelo econométrico com base na proposta STIRPAT para verificar a relação estatística entre a complexidade econômica dos BRICS e sua emissão de gás carbônico. Utiliza-se da análise de dados em painel com efeitos fixos. Como complemento, os dados também são avaliados à luz da hipótese da Curva Ambiental de Kuznets. Dentre os principais resultados, destacam-se a verificação de uma relação positiva entre as emissões de dióxido de carbono e o índice de complexidade econômica, conforme esperado pela literatura, e a sinalização de ocorrência da Curva Ambiental, diante da existência de uma relação não-linear entre aumentos na renda e nas emissões.

Palavras-chave: Índice de Complexidade Econômica. Curva Ambiental de Kuznets. Emissões de gás carbônico.

ABSTRACT

Investigating the evolution of production structures in response to climate change is of paramount importance, as it provides crucial understanding to guide business practices and public policies aimed at sustainability. Thus, this research proposes to assess the impact of economic complexity on CO₂ emissions for the period 2009 to 2020 in the BRICS countries. To this end, a contextualization is made regarding the literature that relates the Economic Complexity Index to a series of environmental variables and an exposition of the characteristics of the group of countries studied. In conjunction, an econometric model is suggested based on the STIRPAT proposal to verify the statistical relationship between the economic complexity of the BRICS and their carbon gas emissions. Panel data analysis with fixed effects is used. As a complement, the data are also evaluated in light of the Environmental Kuznets Curve hypothesis. Among the main results, we highlight the verification of a positive relationship between carbon dioxide emissions and the economic complexity index, as expected by the literature, and the indication of the occurrence of the Environmental Curve, given the existence of a non-linear relationship between increases in income and emissions.

Keywords: Economic Complexity Index. Environmental Kuznets Curve. Carbon dioxide emissions

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Indicadores de Produção e Ambientais na Literatura Analisada.....	23
Quadro 2 - Síntese das variáveis e sinal esperado	44

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Relação CO ₂ x ECI no Brasil.....	30
Gráfico 2 - Relação CO ₂ x ECI na Rússia.....	33
Gráfico 3 - Relação CO ₂ x ECI na Índia	35
Gráfico 4 - Relação CO ₂ x ECI na China	37
Gráfico 5 - Relação CO ₂ x ECI na África do Sul	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Síntese dos principais resultados	49
Tabela 2 - Síntese de resultados em modelos alternativos	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BRIC – Brasil, Rússia, Índia e China

BRICS – Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul

CEPAL – Comissão Econômica Para América Latina e Caribe

CH₄ - Metano

CO₂ – Dióxido de carbono

COP - Conferência das Partes

ECI – Índice de Complexidade Econômica

ECK – Curva Ambiental de Kuznets

EUA – Estados Unidos

FMI – Fundo Monetário Internacional

GEE – Gases do efeito estufa

ICP - Índice de Complexidade do Produto

IPAT – *Impact, Population, Affluence and Technology*

MIT – *Massachusetts Institute of Technology*

MQO – Mínimos quadrados ordinários

N₂O – Óxido nitroso

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

ONU – Organização das Nações Unidas

PIB – Produto interno bruto

STIRPAT - *Stochastic Impacts bi Regression on Population, Affluence, and Technology*

UE – União Europeia

UNEP - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA SOBRE ECI E VARIÁVEIS DE MENSURAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL	11
2.1 CONCEITUALIZAÇÃO DO ÍNDICE DE COMPLEXIDADE ECONÔMICA NO ARCABOUÇO DO DESENVOLVIMENTO.....	11
2.2 A CURVA AMBIENTAL DE KUZNETS	14
2.3 A RELAÇÃO ENTRE ECI E VARIÁVEIS AMBIENTAIS	15
2.4 INDICADORES AMBIENTAIS	21
3 BRICS: CARACTERÍSTICAS E EVOLUÇÃO DO GRUPO.....	25
3.1 A CRIAÇÃO DO GRUPO	25
3.2 CARACTERÍSTICAS DOS PAÍSES DO GRUPO	30
3.2.2 Brasil	30
3.2.3 Rússia.....	32
3.2.3 Índia	34
3.2.4 China.....	36
3.2.5 África do Sul	38
3.4 A EXPANSÃO DO GRUPO.....	41
4 DESENVOLVIMENTO DO MODELO E ANÁLISE INTERPRETATIVA DOS RESULTADOS	43
4.1 APRESENTAÇÃO DO MODELO E DA BASE DE DADOS	43
4.2 DADOS EM PAINEL	46
4.3 MODELO STIRPAT	48
4.4 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS	49
4.5 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS À LUZ DA LITERATURA.....	53
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
REFERÊNCIAS	59
APÊNDICE A	66

APÊNDICE B.....68

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento sustentável emerge como um conceito central, não apenas nos meios de comunicação, mas principalmente nas mesas de decisões dos líderes globais. Com os compromissos firmados em acordos internacionais como a COP21 em Paris (2015) e o Pacto Ecológico Europeu (2019), a necessidade de transição para um modelo produtivo sustentável se torna mais urgente do que nunca. A COP21, que reuniu os 195 países membros da UNFCCC (Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima), representou um marco na luta contra as mudanças climáticas. O Pacto Ecológico Europeu, por sua vez, demonstra o compromisso da União Europeia com a sustentabilidade, estabelecendo metas ambiciosas para a redução das emissões de gases de efeito estufa. Essa mudança é crucial não apenas por razões ambientais, mas também como um requisito fundamental para viabilizar a comercialização global de produtos.

A partir destas considerações, esse trabalho propõe como objetivo geral uma investigação das interações entre a complexidade econômica dos países pertencentes ao grupo BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul) e o contexto ambiental em que estão inseridos, no período de 2009 a 2020.

O problema central que motivou a realização dessa pesquisa é avaliar a possibilidade de ser estabelecida uma conexão entre mudanças na complexidade econômica dos países e seu desempenho ambiental, medido em termos de emissão de CO₂ *per capita*. A hipótese sugerida é de que existe uma relação entre o nível de sofisticação das estruturas produtivas do país e o seu desempenho ambiental. Essa hipótese se baseia na premissa de que economias desenvolvidas são mais complexas e tendem a produzir de uma forma mais eficiente e limpa, produzindo como resultado uma quantidade menor de resíduos ambientais.

A complexidade econômica é uma medida que avalia a diversificação e sofisticação das estruturas produtivas de um país, indicando sua capacidade de produzir bens e serviços tecnologicamente avançados. A escolha pela abordagem da complexidade econômica possibilita uma análise abrangente das estruturas produtivas de um país. Quando essa abordagem é combinada com indicadores ambientais, ela fornece informações valiosas sobre o quão sustentável é a planta produtiva do país.

No contexto de produção sustentável, é importante analisar como as estruturas produtivas de um país se adaptam à crescente demanda global por produtos de baixa emissão de carbono. Estudos recentes, como o de Agozie *et al.* (2022) e Chu (2020), têm fornecido evidências robustas de que países desenvolvidos, com plantas produtivas mais complexas,

tendem a apresentar um desempenho ambiental superior, com menor nível de emissão de gases do efeito estufa e consumo de combustíveis fósseis, em comparação com aqueles de estruturas mais simples. Essas informações sinalizam de forma clara e direta para os formuladores de políticas que a 13 complexidade econômica pode estar associada a uma maior eficiência no uso dos recursos naturais, contribuindo para o alcance de metas de sustentabilidade e impulsionando o crescimento econômico e a inovação de forma simultânea.

A metodologia escolhida para esse trabalho foi a análise de dados em painel de efeito fixo. Além disso, o trabalho se baseia no modelo STIRPAT (*Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence and Technology*), que é um modelo estocástico que relaciona renda, população e tecnologia a variáveis de degradação ambiental. A base de dados vai de 2009, ano de fundação do grupo, até 2020, ano em que acabam os dados disponíveis sobre a emissão de CO₂ *per capita*.

Buscando endereçar esses assuntos, esse trabalho se divide em três grandes capítulos. O primeiro aborda uma revisão teórica ampla do tema, citando a base nas quais a análise realizada se baseia. Também será feita uma contextualização sobre o conceito de complexidade econômica e da proposta da Curva Ambiental de Kuznets, além de uma revisão sobre a literatura que relaciona o índice de complexidade econômica a variáveis ambientais. O segundo capítulo realiza uma revisão histórica sobre os BRICS, tratando a respeito de aspectos que levaram a fundação do grupo de países, suas semelhanças, diferenças e importância dentro do panorama da geopolítica global. Dentro do terceiro capítulo, apresenta-se a modelagem econométrica do trabalho, aonde será abordada a metodologia empregada na confecção do modelo, a explicação das variáveis escolhidas bem como quais resultados são esperados com base na revisão de literatura. Ainda nesse capítulo, será realizado o processo de regressão e comparação dos resultados encontrados com a literatura analisada. Ao final, são evidenciadas algumas considerações finais.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA SOBRE ECI E VARIÁVEIS DE MENSURAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL

2.1 CONCEITUALIZAÇÃO DO ÍNDICE DE COMPLEXIDADE ECONÔMICA NO ARCABOUÇO DO DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento econômico é de extrema importância para uma nação, uma vez que abrange uma variedade de elementos que exercem um impacto direto no crescimento e na prosperidade do país. Em termos gerais, ele pode ser caracterizado como o processo que, ao decorrer do tempo, resulta em um aumento sustentável na *renda per capita* de uma população. Esse processo envolve o aprimoramento da produtividade econômica, o crescimento dos salários médios e contribui para a criação de um nível de bem-estar mais elevado (Bresser-Pereira, 2006).

Ao longo da história, diversos autores apresentaram teorias e modelos para explicar diferentes aspectos do desenvolvimento econômico. Por exemplo, Adam Smith enfatizou a importância da divisão do trabalho e da acumulação de capital como impulsionadores desse processo (Smith, 2017). Por outro lado, Joseph Schumpeter desenvolveu a teoria da "destruição criativa", que argumentava que o desenvolvimento econômico ocorre por meio de uma constante inovação, na qual estruturas econômicas antigas são substituídas por abordagens mais modernas e mais eficazes em construir progresso econômico (Schumpeter, 1984).

Ao buscar soluções para o processo de industrialização tardia nas economias em desenvolvimento, em especial as latino americanas, a Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL), estabelecida pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 1948, desempenhou um papel fundamental na realização de pesquisas sobre o progresso econômico e na análise das disparidades sociais e econômicas existentes na região (Alencar *et al.*, 2018). Um dos legados notáveis da CEPAL foi a promoção e a formulação do pensamento estruturalista na América Latina. Ao questionar o modelo neoclássico e sua crença de que a especialização com base na teoria das vantagens comparativas resolveria os desafios do desenvolvimento, essa escola de pensamento trouxe à tona questões relacionadas às diferenças na estrutura produtiva entre nações desenvolvidas e em desenvolvimento (Gala *et al.*, 2018).

A análise econômica de Raul Prebisch e Celso Furtado argumentava que o desenvolvimento estava intrinsecamente ligado a uma estrutura desigual que separava o centro e a periferia. Os países centrais utilizavam técnicas avançadas de produção, gerando produtos manufaturados de alto valor, enquanto as economias periféricas eram predominantemente

responsáveis pela produção de bens mais simples, como matérias-primas e *commodities* (Alencar *et al.*, 2018).

Em resumo, de acordo com a perspectiva da CEPAL, a dinâmica entre o centro e a periferia era determinada pela disseminação das inovações tecnológicas ao longo do tempo. Nos países centrais, essas inovações se espalhavam rapidamente por diversos setores da economia, enquanto nas nações periféricas, o progresso tecnológico chegava com atraso, concentrando-se principalmente nos setores voltados para a exportação. Esse modelo produtivo levava à criação de uma estrutura de produção orientada para a exportação, direcionando uma parte significativa dos recursos para o crescimento das atividades exportadoras, ao passo que as demandas internas eram atendidas por meio da importação de bens de consumo dos países centrais (Furtado, 2000).

O desequilíbrio no desenvolvimento econômico gerou desafios significativos para nações periféricas. Elas encontraram obstáculos ao tentar ampliar a diversificação de suas economias e competir em um mercado global onde os países centrais dominam. Além disso, a dependência de produtos primários as tornou suscetíveis a oscilações nos preços desses produtos nos mercados internacionais, impactando diretamente sua estabilidade econômica (Alencar *et. al.*, 2018).

Ademais, tem-se também a vertente que abrange os teóricos da economia do desenvolvimento. Os economistas do desenvolvimento empenharam-se em compreender de forma mais incisiva a relação entre estrutura produtiva e crescimento. Ao contrário dos economistas neoclássicos, os teóricos do desenvolvimento se dedicaram a uma análise mais detalhada dos setores produtivos, reconhecendo as diferenças entre eles e a sua influência crucial na determinação da demanda por produtos, bem como nos processos de produção (Chenery, 1988).

Além disso, essa abordagem também levava em conta as condições iniciais de um país, como seu estoque de capital e os recursos naturais disponíveis em cada setor. Esses elementos exercem influência sobre a capacidade de substituição dos setores ao longo do tempo, o que, por sua vez, determina o esforço necessário para efetuar alterações na configuração produtiva (Chenery, 1988). Em outras palavras, esses fatores explicam por que, mesmo diante de um cenário positivo em um determinado setor, a mudança na estrutura de produção que otimize seu desempenho pode ser um processo demorado.

Dessa forma, algumas das principais teorias de desenvolvimento econômico fazem uma associação entre crescimento econômico com as evoluções graduais na estrutura produtiva dos

países, ou seja, com a progressiva mudança na forma que bens e serviços são produzidos e distribuídos na sociedade.

Dentro desse contexto, surge o conceito de complexidade econômica, que se define como uma métrica da diversidade e sofisticação dos bens e serviços que uma economia tem a capacidade de gerar (Agozie et al, 2022). A complexidade econômica está intrinsecamente relacionada à estrutura produtiva de um país, visto que, à medida que a economia se torna mais complexa, a produção e distribuição de bens e serviços evoluem para se adequar a essa complexidade (Hidalgo e Hausmann, 2009). Isso implica uma constante necessidade de adaptação e inovação nos métodos de produção e nas estruturas de distribuição.

A complexidade econômica tem sido objeto de estudo desde o final da década de 1980, quando começou a ser debatido em seminários realizados pelo *Santa Fe Institute*. Esses seminários deram origem a modelos que sugeriam que a economia não era regida apenas pelo equilíbrio e pela racionalidade dos agentes, mas sim por uma intrincada rede de interações entre indivíduos, que tomam decisões com base em informações limitadas e incompletas disponíveis no momento (Arthur, 2015). Essa abordagem resulta em um cenário econômico não mais perfeitamente ordenado, mas sim dinâmico, complexo e em constante evolução.

A Teoria da Complexidade Econômica, desenvolvida por Hidalgo e Hausmann, oferece uma contribuição interessante para a compreensão desse contexto. O que difere o trabalho deles de outros autores é o método proposto para avaliar a complexidade dos produtos exportados. Em vez de depender de categorias relacionadas à intensidade tecnológica ou de indicadores baseados em renda, Hidalgo e Hausmann argumentam que a produtividade de um país está intrinsecamente ligada à diversidade de seus ativos não exportáveis, tais como direitos de propriedade, regulamentações, infraestrutura e competências específicas da mão de obra (Hidalgo; Hausmann, 2009).

Essa teoria procura quantificar a complexidade de países com base na análise da sofisticação (dificuldade de produção) e na ubiquidade (em quantos países o bem é produzido) da sua cesta de bens e serviços produzidos (Romero; Gramkow, 2021). Ela é originalmente calculada através de um algoritmo que apresenta os dados na forma de redes bipartidas, aonde os países são conectados a aquilo que eles exportam. Essas redes são representadas por uma matriz país-produto¹, com elementos M_{cp} , onde "c" se refere ao país e "p" ao produto (Hidalgo e Hausmann, 2009).

¹ Não confundir com matriz-insumo produto. A matriz país visa analisar a complexidade econômica de um país, quantificando a diversidade e sofisticação de suas capacidades produtivas, enquanto a matriz insumo-produto analisar as interdependências entre os setores da economia, quantificando o fluxo de bens e serviços entre eles.

O grau de diversificação de cada país é definido com base no número de produtos "p" que o país "c" produz com vantagem comparativa sobre os demais. O nível de ubiquidade da produção é definido com base no número de países que produzem aquele mesmo bem "p" com vantagens comparativas (Romero; Gramkow, 2021).

Em seu estudo, Hidalgo e Hausmann (2009) realizaram uma análise que revelou descobertas interessantes sobre a relação entre diversificação econômica e prosperidade em nove países. Eles empregaram o "método de cálculo dos reflexos", uma abordagem que integra informações sobre países e produtos para compreender as interações nas redes de comércio internacional. Este método leva em consideração a interligação das estruturas de exportação em todo o mundo, permitindo uma avaliação abrangente da complexidade de um país com base nas atividades produtivas em escala global. A partir dessas informações, foram derivados dois índices importantes: o Índice de Complexidade Econômica (ECI, do inglês *Economic Complexity Index*) e o Índice de Complexidade do Produto (ICP).

Os resultados da pesquisa dos autores revelaram uma correlação positiva notável entre a renda *per capita* de um país e o grau de diversificação de sua economia. Isso sugere que nações com estruturas produtivas mais diversas tendem a desfrutar de maior prosperidade econômica (Hidalgo; Hausmann, 2009; Mealy; Teytelboym., 2019). Além disso, o estudo demonstrou uma correlação inversa entre diversificação e ubiquidade, indicando que países com maior complexidade econômica geralmente se destacam na produção de bens exclusivos no mercado global, enquanto aqueles com menor diversificação tendem a produzir produtos mais comuns.

2.2 A CURVA AMBIENTAL DE KUZNETS

A curva ambiental de Kuznets (EKC) surge de uma teoria que propõe uma relação não linear entre um conjunto de indicadores de degradação ambiental e a renda *per capita* daquela economia (Stern, 2017). Ela é uma extensão da proposta original da Curva de Kuznets, que descrevia a relação entre desenvolvimento econômico e desigualdade de renda em uma sociedade ao longo do tempo (Kuznets, 1955).

A proposta original da curva sugere que, à medida que um país se desenvolve economicamente, a desigualdade de renda aumenta antes de diminuir. Isso ocorre porque, nas fases iniciais do desenvolvimento, grupos menores da economia conseguem aproveitar o progresso econômico, o que resulta no aumento da desigualdade de renda. No entanto, à medida que o ciclo de crescimento econômico prossegue, mais e mais grupos começam a se beneficiar,

levando à redução da desigualdade de renda. Esse padrão resulta em uma curva em forma de “U invertido”, que representa a relação entre crescimento econômico e distribuição de renda (Kuznets, 1955).

Com base no proposto por Kuznets, os autores Grossman e Krueger (1991) introduziram a EKC (do inglês *Environmental Kuznets Curve*) como uma ferramenta para compreender como a renda *per capita* está relacionada à degradação ambiental ao longo do tempo, acompanhando o processo de sofisticação da estrutura produtiva de um país.

Nos estágios iniciais de desenvolvimento, a poluição e as emissões de gases de efeito estufa aumentam exponencialmente, levando à degradação do meio ambiente. No entanto, após atingir um certo nível de crescimento econômico, a tendência se inverte, e o país começa a experimentar uma redução na degradação ambiental. À medida que a renda *per capita* atinge níveis mais elevados, a degradação ambiental diminui significativamente. Essa relação é frequentemente descrita como uma curva de “U invertido” (Swart; Brinkmann, 2019), assim como na proposta original de Kuznets para desenvolvimento e desigualdade.

A explicação mais comum para o comportamento da EKC é que, nas fases iniciais de desenvolvimento, as preocupações ambientais são frequentemente sacrificadas em prol do crescimento econômico. À medida que a renda aumenta, a sociedade tem a capacidade financeira de investir em tecnologias mais limpas e práticas sustentáveis (Dinda, 2004).

Esse investimento pode se manifestar de diversas maneiras, incluindo gastos defensivos, doações a organizações ambientais ou a escolha de produtos menos prejudiciais ao meio ambiente. Em termos simples, populações com rendas mais altas demonstram um comprometimento financeiro mais substancial em despesas destinadas à preservação do meio ambiente, o que, por sua vez, justifica a inversão da curva (Dinda, 2004).

2.3 A RELAÇÃO ENTRE ECI E VÁRIAS AMBIENTAIS

O interesse crescente na comunidade acadêmica em relação à interação entre o Índice de Complexidade Econômica e o desempenho ambiental é impulsionado pelas preocupações globais sobre as emissões de poluentes e seus efeitos no aquecimento global (Hassan *et al.*, 2022).

O desenvolvimento econômico está ligado à transformação das estruturas produtivas nos países. Entre várias teorias de desenvolvimento, há um amplo consenso de que a industrialização desempenha um papel central na modernização dessas estruturas (Romero; Gramkow, 2021). Ao longo do tempo, essas mudanças estruturais conduziram as economias à

diversificação, abandonando o modelo de produção agrícola de baixa tecnologia em prol de uma indústria mais avançada e intensiva, embora também mais prejudicial ao meio ambiente. Em particular, o aumento na demanda por combustíveis fósseis resultou em um significativo aumento nas emissões de gases do efeito estufa (GEE) (Zheng *et al.*, 2021).

Diversos estudos ampliam a compreensão dessas relações ao apresentar evidências empíricas sobre o comportamento da EKC em diferentes grupos de países e ao longo do tempo. Can, Doğan e Saboori (2019) conduziram uma análise examinando o impacto da sofisticação das estruturas produtivas nas emissões de CO₂ em 55 países, categorizados em três grupos de renda: alta, média-alta e baixa de 1971 a 2014. Utilizando a técnica de regressão quantílica em dados em painel, o estudo realizou uma investigação sobre o comportamento da Curva Ambiental de Kuznets nos 55 países selecionados. Os autores optaram por modelar as emissões de CO₂ em função de cinco variáveis explanatórias: PIB *per capita*, uso de energia, abertura comercial, abertura comercial *per capita*, urbanização *per capita* e complexidade econômica. O termo ao quadrado do PIB *per capita* foi acrescentado para o teste da hipótese da EKC.

Os resultados da pesquisa encontraram que as emissões diminuíram em países com níveis de renda alta e média-alta, confirmando assim, o que é proposto pela EKC. Além disso, o trabalho constatou também que aumentos na complexidade econômica resultaram em aumentos nas emissões de CO₂ em quase todas as faixas de renda, sendo a faixa mais alta a exceção. A abordagem ainda revelou que a abertura comercial pode desempenhar um papel importante na redução das emissões de CO₂ em países de alta e média renda, mas contribui para o aumento dessas emissões em países de baixa renda. Os autores sugerem que isso pode acontecer pela ausência de incentivo para a compra de tecnologia sustentável em países dessa faixa de renda.

Chu (2020) propôs a realização de uma análise ainda mais ampla, observando as interações entre complexidade econômica e emissões de CO₂ para 118 países no período que vai de 2004 a 2014. A autora se baseia no modelo STIRPAT (*Stochastic Impacts bi Regression on Population, Affluence, and Technology*), um modelo matemático que estima a relação da degradação ambiental com população, renda e tecnologia, para a realização de uma investigação a respeito da validade da hipótese da EKC no grupo de países do estudo. Sua análise propõe uma abordagem diferente daquela proposta por Can, Doğan e Saboori (2019). Ao invés de analisar a validade da hipótese da EKC analisando a renda das economias, ela se propõe a analisar uma variação da EKC aonde o ECI substitui a renda. Assim, a autora busca encontrar alguma relação não linear, entre a complexidade econômica e a emissão de CO₂.

Os resultados revelaram que, inicialmente, um aumento na complexidade econômica estava associado a maiores emissões de CO₂, porém, à medida que a economia se desenvolvia e se tornava mais complexa, o efeito negativo do ECI diminuía. Além disso, o estudo destacou o papel crucial do governo na aceleração da transição econômica, especialmente ao apoiar o desenvolvimento de energias renováveis e indústrias intensivas em conhecimento.

Swart e Brinkmann (2020) propõem uma análise mais localizada. As autoras examinam a relação entre o índice de complexidade econômica e algumas variáveis ambientais chaves para o Brasil no período que vai de 2002 a 2014. De forma semelhante ao trabalho de Chu (2020), as autoras também apresentam uma proposta de EKC que não observa a renda como variável-chave, mas sim a complexidade econômica. A motivação por trás dessa mudança está na capacidade do índice de medir crescimento econômico. Além disso, ao abordar o ECI ao invés da renda, as autoras argumentam que a existência da curva de U invertido pode ser interpretada como avanços na tecnologia embarcada na produção, e não na percepção de que preservação ambiental é um bem de luxo que passa a ser adquirido conforme os países enriquecem.

O modelo proposto por Swart e Brinkmann (2020) envolveu a investigação do efeito das variáveis de controle em quatro variáveis de degradação ambiental para o Brasil: geração de resíduos sólidos, desmatamento, incêndios florestais e emissão de CO₂. As variáveis foram então submetidas a um modelo de regressão de dados em painel, aonde foi avaliado o impacto da complexidade econômica em cada uma delas. Os resultados encontrados demonstram diferentes comportamentos para cada variável de degradação ambiental. Foi identificado que o aumento da complexidade gera uma redução na geração de resíduos sólidos, mas gera aumentos na variável de incêndio florestal. O estudo, porém, não encontrou relação entre o ECI e desmatamento e emissões de CO₂. A respeito da EKC, o estudo encontrou a relação não linear para as variáveis de desmatamento e geração de resíduos sólidos. As autoras argumentaram que os resultados encontrados poderiam ser aprimorados, mas que para isso era necessário que dados de melhor qualidade fossem produzidos e que o acesso a eles fosse mais facilitado.

Romero e Gramkow (2021) investigaram qual a contribuição dada pela complexidade econômica na redução da intensidade das emissões de GEE e também na quantidade de emissões *per capita*. Para isso, foram selecionados 67 países no período que vai de 1976 até 2012. A fim de alcançar esse propósito, eles aplicaram dois modelos que combinam o uso de efeitos fixos, para controlar as variações individuais não observadas, com o método dos momentos generalizados para abordar a correlação entre as variáveis de interesse. Para o teste dos efeitos foi estimada uma equação que relaciona a intensidade das emissões de GEE com a

complexidade econômica e mais nove variáveis de controle – abertura comercial, urbanização, consumo de eletricidade, PIB *per capita*, população, educação, participação da agricultura, participação da indústria e patentes – além de defasagem na variável do ECI. Também foi acrescentado ao modelo o termo ao quadrado do PIB *per capita* para o teste da hipótese da EKC.

Os resultados encontrados pelo modelo indicam que a complexidade econômica apresenta um impacto significativo tanto na diminuição das emissões de GEE quanto nas emissões *per capita*. Além disso, os resultados ainda fornecem evidências de que a produção de bens complexos está associada com a diminuição nas emissões por duas razões. A primeira é que bens complexos embarcam mais tecnologia, logo tem um valor agregado maior por unidade produzida, o que os torna mais eficientes economicamente. Em segundo lugar, avanços na forma de produções mais sustentáveis são mais prováveis de acontecer em economias mais complexas uma vez que seus bens tem um grau maior de tecnologia investido. Um resultado importante para esse conjunto de dados específico é que, diferentemente dos outros dois estudos, mesmo os sinais das variáveis alcançando o resultado esperado – positivo para o PIB *per capita* e negativo para o termo ao quadrado – a significância do termo ao quadrado foi baixa, o que significa que a hipótese da EKC não é válida para o conjunto de dados analisados pelo modelo.

Zheng *et al.* (2021) investigou o papel da complexidade econômica e a o uso de energia renovável na busca pela neutralidade de carbono em dezesseis das principais nações exportadoras do mundo: Canadá, China, França, Alemanha, Índia, Itália, Japão, México, Países Baixos, Rússia, Coreia do Sul, Singapura, Espanha, Suíça, Estados Unidos e Reino Unido no período que vai de 1990 até 2019. O estudo usou duas variáveis exógenas e determinantes para a análise da neutralidade de carbono, a complexidade econômica e o consumo de energia renovável. A argumentação pela escolha da energia como variável exógena está na sua presença em praticamente toda atividade humana, seja ela comercial ou não. Além disso, a escolha pelo uso de, especificamente, energia renovável se dá pelo seu potencial de aumento da eficiência de produção sem aumentar os índices de poluição ambiental.

Os resultados do modelo indicaram um efeito negativo da complexidade econômica e da energia sobre as emissões de CO₂. Além disso a pesquisa forneceu evidências que sugerem que países com plantas produtivas mais limpas tem vantagem quando comparadas com outras economias tão complexas quanto, mas movidas a energia não renovável, na busca pela neutralidade de carbono. O modelo também apresentou resultados semelhantes a aqueles

encontrados por Can, Doğan e Saboori (2019) a respeito da validade da EKC para a variável de renda.

Aluko, Opoku e Acheampong (2022) conduziram uma investigação sobre os efeitos da complexidade econômica na relação entre renda e degradação ambiental nos países da OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico) de 1988 a 2017. O estudo visava compreender como a complexidade econômica afeta a pegada ecológica e as emissões de gases de efeito estufa nos países estudados. O modelo empírico incorporou premissas da hipótese da Curva Ambiental de Kuznets, o modelo STIRPAT e a Hipótese do Paraíso Poluidor. Com base nessa estrutura teórica, o modelo considerou renda, população, tecnologia e abertura comercial como fatores fundamentais na análise da degradação ambiental. Os resultados desse estudo indicam que a complexidade econômica está associada ao aumento da pegada ecológica, emissões de CO₂, N₂O e gases de efeito estufa. No entanto, também confirmam a hipótese da EKC, demonstrando que, à medida que a renda aumenta, esses efeitos tendem a ser atenuados.

Agozie et. al (2022) investigam a relação dinâmica entre investimento estrangeiro direto, índice de complexidade econômica, energia renovável, recursos naturais, urbanização e emissões de CO₂ para as cinco economias do BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul), no período de 1990 a 2019, com ênfase na sustentabilidade ambiental e eficiência energética. Além disso o estudo também procura testar o comportamento da EKC para as variáveis analisadas. Para a realização dessa análise foram empregadas técnicas econométricas do tipo grupo de média aumentada com mínimos quadrados totalmente modificados (*Augmented Mean Group e Fully Modified-Ordinary Least Squares*).

A respeito dos resultados da EKC, o estudo encontrou uma relação em forma de “U invertido” e em forma de “N” entre o índice de complexidade econômica e as emissões de CO₂. Além disso os dados a respeito do investimento estrangeiro sustentam a Hipótese do Paraíso Poluidor em que países desenvolvidos terceirizam sua produção poluidora para países em desenvolvimento. O estudo também identifica que a energia renovável e a interação entre o índice de complexidade econômica e a urbanização têm um impacto adverso nas emissões de CO₂, enquanto os recursos naturais e a urbanização têm um impacto positivo no meio ambiente. A sugestão é de que os resultados indicam a necessidade de políticas energéticas abrangentes com foco em energias renováveis e estratégias econômicas saudáveis para atingir a sustentabilidade ambiental e econômica.

Neagu e Teodoru (2019) propuseram uma abordagem completamente diferente dos trabalhos analisados até aqui, não utilizando a hipótese da EKC. O trabalho examina a relação de longo prazo entre a complexidade econômica e as estruturas de consumo de energia e as

emissões de GEE para países da União Europeia no período que vai de 1995 a 2006. Para examinar essa relação os países foram subdivididos em dois grupos: países de maior e países de menor complexidade. Dada a heterogeneidade dos países estudados foi utilizada a técnica de painel heterogêneo, incluindo a estimativa de painéis pelo método dos mínimos quadrados totalmente modificados e mínimos quadrados ordinários dinâmicos.

Os resultados empíricos deste estudo revelam uma relação de equilíbrio de longo prazo entre complexidade econômica, estrutura de consumo de energia e emissões de GEE em todos os grupos de países investigados. Além disso, constata-se que tanto a complexidade econômica quanto a estrutura de energia exercem um impacto estatisticamente significativo nas emissões de GEE em todos os países e subgrupos examinados. Esta influência é mais proeminente nos países com menor complexidade econômica, o que sugere um maior risco de poluição à medida que a complexidade econômica aumenta e a matriz energética favorece o consumo de fontes não renováveis de energia. Em conclusão, o crescente interesse na relação entre o Índice de Complexidade Econômica e o desempenho ambiental é motivado pela preocupação global com as emissões de poluentes e o aquecimento global. Estudos recentes fornecem uma visão abrangente das interações entre o desenvolvimento econômico e o meio ambiente.

As pesquisas analisadas nesse trabalho trazem diferentes abordagens para a hipótese da EKC, com Can, Doğan e Saboori (2019), Zheng *et al.* (2021) e Aluko, Opoku e Acheampong (2022) abordando a EKC pelo lado da renda enquanto Chu (2020) e Swart e Brinkmann (2020) substituíram a renda pelo ECI. Em comum estão os resultados encontrados pelos cinco trabalhos, com evidências de que existe uma melhora ambiental após certo nível de desenvolvimento. O único trabalho a não validar a hipótese da EKC foi o de Romero e Gramkow (2021). Porém o trabalho também encontrou validade para a hipótese de que aumentos na complexidade levam a uma queda na emissão de poluentes, justificando através da ideia de quanto mais complexa é uma produção maior o valor agregado da produção e mais eficiente ela é na redução de emissões.

O único estudo analisado que não utilizou a hipótese da EKC foi o conduzido por Neagu e Teodoru (2019) e, apesar de não utilizar a EKC, teve resultados semelhantes aos demais trabalhos, com as emissões de poluentes sendo maiores em economias menos complexas.

Uma conclusão importante desses estudos é que a influência da complexidade econômica e de outros fatores varia de acordo com as regiões e os grupos de países analisados. Em última análise, esses estudos enfatizam a necessidade de estratégias econômicas sustentáveis e políticas ambientais eficazes para conciliar o crescimento econômico com a proteção do meio ambiente.

2.4 INDICADORES AMBIENTAIS

No geral, indicadores são ferramentas utilizadas para simplificar informações complexas e auxiliar na tomada de decisões através da observação das tendências ao longo do tempo, economizando assim recurso e tempo. O Ministério do Meio Ambiente brasileiro define indicadores ambientais como "estatísticas selecionadas que representam ou resumem alguns aspectos do estado do meio ambiente, dos recursos naturais e de atividades humanas relacionadas" (Brasil, 2017).

Segundo Herculano (2010) os indicadores ambientais podem ser divididos em três indicadores diferentes: de pressão, de estado e de resposta. Os indicadores de pressão dizem respeito ao impacto que as atividades humanas exercem sobre a natureza. Eles incluem dados relacionados à produção de resíduos, emissões de poluentes, uso de recursos naturais, urbanização e outros fatores que contribuem para a degradação ambiental. Por sua vez, indicadores de estado ajudam a entender a condição atual do meio ambiente e as tendências ao longo do tempo. Eles incluem dados como a qualidade da água, do ar, nível de biodiversidade, níveis de poluição e saúde dos ecossistemas. Finalizando, os indicadores de resposta indicam como a sociedade está lidando com os desafios ambientais, incluindo a implementação de regulamentações, programas de conservação, investimentos em energia limpa e outras ações destinadas a melhorar o estado ambiental e reduzir as pressões ambientais.

Em busca de praticidade, é uma prática comum na comunidade internacional adotar guias universais que associam questões ambientais específicas aos seus respectivos indicadores correspondentes. Por exemplo, a OCDE compila uma tabela com indicadores para oito questões ambientais importantes. Apesar de existir a vantagem de uma lista unificada é importante ressaltar que a importância de cada questão pode variar entre um país e outro (Hammond, 1995).

Um indicador de pressão amplamente utilizado é o monitoramento das emissões de CO₂, bem como as emissões de GEE. Esse último compila dados sobre a emissão de três gases: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O). Embora uma parte das emissões de GEE ocorram naturalmente, de acordo com a UNEP, a agência da ONU dedicada ao meio ambiente, as atividades humanas têm contribuído substancialmente para um aumento nas emissões, resultando em uma série de impactos climáticos adversos, como enchentes, furacões, queimadas naturais e extremos de calor e frio (UNEP, 2022). Os dados a respeito desses indicadores são amplamente catalogados com as emissões de CO₂ sendo observadas até antes da primeira Revolução Industrial.

Ainda dentro das emissões de CO₂, a métrica utilizada para contabilizar quanto cada cidadão contribui em média para a emissão de gases em seus países são as emissões *per capita*. Ela é calculada dividindo o total de emissões do país pelo número de habitantes. São contabilizadas nessa variável apenas as emissões resultantes da produção interna, excluindo aquelas advindas do comércio internacional (Ritchie *et al.*, 2022).

Segundo dados de 2019 do *Climate Watch*², a produção e consumo de energia representaram quase três quartos das emissões globais de GEE no período de 1990 a 2019, com a geração de eletricidade e calor sendo os setores mais poluentes. Também segundo esses dados, os dez países mais poluidores são responsáveis por quase 60% de todas as emissões globais, com China e Estados Unidos encabeçando a lista dos maiores emissores.

Como mencionado acima, o consumo de energia está diretamente ligado ao aumento da emissão de GEE. Segundo dados do *Our World in Data*³, em 2022 a grande maioria da energia consumida no mundo ainda era oriunda do petróleo, gás natural e hidroelétricas. Quando analisado de forma mais detalhada é possível observar que a planta de consumo global de energia ainda é dominada por combustíveis fósseis, contabilizando mais de 80% do todo o consumo global. A importância dessa informação é de que, ainda segundo o *Our World in Data*, a demanda por energia tem crescido anualmente a taxas médias de 1 a 2% conforme as populações vão recebendo aumentos na sua renda. Isso acende um sinal de alerta de que caso não exista avanços no setor produtivo de energia a demanda pode vir a superar a oferta (Ritchie *et al.*, 2022).

Uma das alternativas para suprir a crescente demanda por energia é o investimento em fontes limpas. Ritchie *et al.* (2022) define energia limpa como a soma de toda energia elétrica produzida através de usinas nucleares e fontes renováveis como solar, hidroelétrica, eólica, biomassa, geotérmica e energia maremotriz. Segundo dados do *Our World in Data*, o lado ocidental do mundo produz acima da média global de energia limpa, enquanto os países orientais uma quantidade menor. Além disso os dados também trazem os países líderes no consumo de energia limpa, com o Brasil figurando em quarto lugar.

O aumento na geração de energia e a dependência contínua de combustíveis fósseis também têm implicações significativas na geração de resíduos sólidos. Em relatório para o *World Bank* de 2018, Kaza *et al.* (2018) definem como resíduo sólido todo resíduo produzido por residências, comércios e instituições, como escolas, hospitais, universidades, dentre outros. De forma geral, os dados relacionados à geração de resíduos sólidos precisam ser considerados

² Dados agregados pelo *Climate Watch* a partir *World Resources Institute* (2019).

³ Dados agregados pelo *Our World in Data* a partir do *Energy Institute Statistical Review of World Energy* (2023).

com cautela, uma vez que são muito inconstantes e difíceis de serem contabilizados, resultando em dados pouco confiáveis (Kaza *et al.*, 2018; UNEP, 2015). Além disso, são aplicadas diferentes metodologias em sua captação, tornando-o inadequado para a utilização na criação de um *ranking*, como nas variáveis anteriores, sendo mais utilizado para a observação de tendências.

Outras duas variáveis que merecem destaque e, ao mesmo tempo, apresentam desafios significativos na sua utilização são aquelas relacionadas ao desmatamento e aos incêndios florestais. Estas variáveis desempenham um papel fundamental na medição do impacto das atividades humanas no meio ambiente. No entanto, é importante ressaltar que sua aplicação como indicadores ambientais enfrenta um desafio notável devido à falta de um cenário base sólido. Como destacado por Huettner *et al.* (2009), a ausência de um ponto de referência confiável para essas variáveis dificulta a avaliação precisa das quantidades emitidas e de seu impacto no ecossistema.

Indicadores ambientais desempenham um papel fundamental ao abordar as relações entre as atividades humanas e o meio ambiente. Eles fornecem percepções importantes para a tomada de decisões e a formulação de políticas destinadas a conservação ambiental e sustentabilidade. No entanto, após a análise de uma ampla gama de variáveis, fica evidente que a confiabilidade dos dados precisa ser analisada antes de tudo. A falta de referências sólidas, como observadas mais fortemente nas variáveis voltadas a incêndios florestais e desmatamento, e em menor grau na geração de resíduos sólidos, destaca a necessidade de melhorar a coleta e análise de informações para estabelecer uma base sólida para medidas e políticas ambientais eficazes.

O Quadro 1 apresenta uma síntese dos indicadores de produção e indicadores ambientais utilizados pela literatura empírica evidenciada na seção 2.3.

Quadro 1 – Indicadores de Produção e Ambientais na Literatura Analisada

Autor	Indicadores de Produção	Indicadores Ambientais
Can, Doğan e Saboori (2019)	ECI, PIB <i>per capita</i>	Emissão de CO ₂ <i>per capita</i> , consumo de energia total <i>per capita</i>
Chu (2020)	ECI, PIB <i>per capita</i> , formação bruta de capital fixo, valor adicionado da indústria	Emissão de CO ₂ , consumo de energia renovável (porcentagem do consumo total de energia do país)

Swart e Brinkmann (2020)	ECI, PIB <i>per capita</i> e abertura comercial	Geração de resíduos sólidos, desmatamento, incêndios florestais e poluição do ar
Romero e Gramkow (2021)	ECI, abertura comercial, PIB <i>per capita</i> , participação da agricultura, participação industrial e número de pedidos de patentes.	Emissões de GEE, emissões <i>per capita</i> , índice de intensidade de emissão do produto, consumo de energia elétrica
Zheng <i>et al.</i> (2021)	ECI e PIB	Emissões de CO ₂ e uso de energia renovável
Aluko, Opoku e Acheampong. (2022)	ECI, PIB <i>per capita</i> , abertura comercial	Emissão de CO ₂ <i>per capita</i> , emissão de N ₂ O, pegada ecológica ¹ , emissão de GEE
Agozie <i>et. al</i> (2022)	ECI	Consumo de energia geradora de poluentes
Neagu e Teodoru (2019)	ECI, investimento estrangeiro direto	Emissão de CO ₂ , uso de energias renováveis, emissões de CO ₂ <i>per capita</i>

Nota 1: Segundo a WWF Brasil (2012) pegada ecológica é "uma metodologia de contabilidade ambiental que avalia a pressão do consumo das populações humanas sobre os recursos naturais. Expressada em hectares globais (GHA), permite comparar diferentes padrões de consumo e verificar se estão dentro da capacidade ecológica do planeta".

Fonte: elaboração própria.

Os indicadores mais recorrentes na literatura examinada abrangem o Índice de Complexidade Econômica (ECI) e o Produto Interno Bruto *per capita* (PIB *per capita*) como indicadores de produção, juntamente com as emissões de CO₂ e o consumo de energia renovável como indicadores ambientais. Esses indicadores refletem o foco na relação entre o desenvolvimento econômico, as emissões de gases de efeito estufa e a adoção de fontes de energia mais limpas, destacando a complexidade do estudo da interação entre complexidade econômica e desempenho ambiental.

3 BRICS: CARACTERÍSTICAS E EVOLUÇÃO DO GRUPO

A formação dos BRICS, acrônimo que designa a aliança entre Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul, marca um ponto importante de mudança na dinâmica da geopolítica e da economia global durante o século XXI. O capítulo a seguir busca traçar os caminhos que levaram países tão distintos entre si a se organizarem e criarem uma base sólida para a busca por seus interesses em comum. Através de uma análise sobre o panorama econômico e político global do início do século é possível lançar luz sobre os eventos que contribuíram para essa união e quais os desafios foram e ainda são enfrentados por essa aliança. Além disso, este capítulo também pretende introduzir cada um dos cinco países, comentando brevemente sobre as peculiaridades de suas economias e realizando uma breve análise sobre seu panorama econômico atual.

3.1 A CRIAÇÃO DO GRUPO

O acrônimo BRIC emergiu em 2001, quando Jim O'Neill, então economista do Goldman Sachs, propôs a criação de um grupo capaz de abranger países de vastas extensões territoriais, cujos cenários econômicos fossem propícios para experimentar um crescimento acelerado. Essa proposta foi inicialmente apresentada no contexto de uma tese sobre investimentos em mercados emergentes. Assim, ao publicar o relatório "*Building Better Global Economic BRICs*" em 2001, como parte do *Global Economics Paper* Nº 66 do Goldman Sachs, O'Neill não tinha como foco considerar as dimensões políticas que o grupo poderia adotar e sim avaliar a atratividade econômica dos países, concentrando-se nas taxas de crescimento do PIB, PIB *per capita* e tamanho de suas populações (Cooper, 2016; Stuenkel, 2017).

Nesse relatório, as projeções de Jim O'Neill indicavam que até 2011 o peso dos BRICs no PIB global aumentaria de forma exponencial, com a China se destacando. Essa tendência levantaria questões cruciais sobre o impacto global das políticas fiscais e monetárias adotadas pelos BRICs no cenário econômico mundial (O'Neill, 2011). A ideia central da análise de 2001 e das subsequentes focava na capacidade dos BRICs de se aproximar e, eventualmente, ultrapassar o grupo do G7⁴ em termos econômicos e, possivelmente, em influência política. Essa expectativa se originava da análise do crescimento demográfico e do potencial produtivo dessas economias (Cooper, 2016).

⁴ Estados Unidos, Japão, Alemanha, Reino Unido, França, Itália e Canadá.

Parte da expectativa de O'Neill esteve atrelada ao potencial de crescimento demográfico daqueles países. Em sua tese, ele acreditava que o aumento populacional dessas nações desempenhava um papel crucial em sua ascensão econômica e na influência global. Segundo ele, populações numerosas significavam uma força de trabalho substancial, impulsionando a produção e a inovação. Além disso, mercados consumidores massivos seriam criados, gerando oportunidades para o crescimento econômico sustentado. O'Neill via o crescimento demográfico não apenas como um indicador demográfico, mas como um catalisador fundamental para transformar países em potências econômicas de destaque no cenário mundial. Assim, os países em desenvolvimento poderiam ter a capacidade de atingir níveis de produtividade comparáveis aos dos países desenvolvidos. Caso o aumento previsto na produtividade acontecesse, China e Índia teriam uma economia até quatro vezes maior do que a dos Estados Unidos. De forma semelhante, Brasil e Rússia, apesar de suas populações menores em comparação com os dois primeiros, teriam potencial para alcançar padrões econômicos semelhantes aos da União Europeia (O'Neill, 2013).

No ano de 2003 um novo relatório abordando o grupo de países foi feito pelo Goldman Sachs. Intitulado *'Dreaming with the BRICs: The Path to 2050'*, essa nova análise previa que os BRICs se tornariam forças dominantes na economia global até o ano de 2050, ultrapassando os países do G7 tanto economicamente quanto na sua influência sobre o mundo. Através do mapeamento de indicadores sociais e econômicos, como o crescimento do PIB, PIB *per capita*, crescimento demográfico e os movimentos cambiais nas economias, o relatório acreditava que ao final desse período os quatro países poderiam figurar entre as seis maiores economias do mundo (Cooper, 2016; Stuenkel, 2017; Wilson; Purushothaman, 2003).

O impacto desse relatório foi significativamente maior do que aquele publicado em 2001, atraindo a atenção de investidores e banqueiros para os países. Porém, mais do que isso, esse relatório sai da bolha financeira, fazendo com que o termo BRIC deixasse de ser apenas um acrônimo para investimentos em um grupo de países emergentes, se transformando nos anos seguintes em um importante jargão na esfera de política internacional (Stuenkel, 2017). Em um novo relatório, agora em 2005, o Goldman Sachs observou que o avanço dos BRICs estava acontecendo em um ritmo ainda mais acelerado do que aquele previsto em 2003 (O'Neil et al., 2005).

Apesar dos relatórios demonstrarem o impacto e a ascensão econômica desses países, o que se observava no cenário global era uma sub-representação dos países em desenvolvimento

durante as tomadas de decisões globais. A manutenção de Canadá e Itália no G8⁵ em detrimento de China e Índia era um constante descontentamento entre os governos brasileiro, chinês e indiano. Buscando apaziguar os ânimos, durante a Cúpula do G8 de 2005 em Gleneagles, no Reino Unido, o então primeiro-ministro Tony Blair iniciou um processo de expansão do grupo denominado "*Outreach Five*", que incluiu Brasil, China, Índia, México e África do Sul. A ideia por trás dessa tentativa de expansão era criar um canal de integração entre os países desenvolvidos e os em desenvolvimento (Cooper, 2016; Stuenkel, 2017).

No entanto, o processo seguiu um modelo pouco inclusivo para os países do *Outreach Five*, tendo liberdade para participar das reuniões apenas como ouvintes, sem direito a opinar e participar das decisões tomadas pelo G8. Apesar disso, o processo iniciado por Tony Blair foi importante por fundamentar as interações entre os BRICs provendo a experiência necessária para organizar cúpulas próprias. Além disso, essa experiência foi fundamental para sacramentar a percepção de coletiva de que os países emergentes eram excluídos e sub-representados dos principais fóruns de governança global, predominantemente controlados pelas grandes potências do norte global (Cooper, 2016).

Com base na experiência adquirida durante a cúpula do G8 em 2005, em 20 de setembro de 2006 as vésperas da sexagésima primeira reunião da Assembleia Geral da ONU em Nova York, por intermédio de Sergey Lavrov, então ministro de relações exteriores da Rússia, os ministros de Relações Exteriores do Brasil, Rússia, Índia e China realizaram sua primeira reunião informal para discutir os desafios políticos e globais da época. Anos mais tarde, os ministros viriam a destacar que foi durante esse encontro que surgiu um elemento unificador entre os quatro países, o descontentamento com a ausência de reformas na distribuição de poder no FMI (Fundo Monetário Internacional) e no Banco Mundial, além da resistência dos países do G8 em ceder espaço para os países emergentes (Cooper, 2016; Stuenkel, 2017).

Durante a Assembleia Geral da ONU em 2007, uma nova reunião foi marcada, dessa vez por intermédio do lado brasileiro. Foi nesse momento que os representantes do lado brasileiro manifestaram o interesse em fortalecer o diálogo com os demais países, propondo a realização de uma cúpula formal para encontro dos chanceleres do BRIC para a discussão de oportunidades de cooperação. Em resposta a essa demanda, a Rússia se ofereceu para sediar e organizar o encontro e assim em 18 de maio de 2008, na cidade de Ekaterinburgo, foi realizada a primeira reunião formal dos chanceleres do BRIC, formalizando o momento em que a sigla

⁵ Estados Unidos, Japão, Alemanha, Canadá, França, Itália, Reino Unido e Rússia.

deixa de ser apenas uma identificação de quatro países em ascendência na economia global para se tornarem uma entidade político-diplomática (Cooper, 2016; Reis, 2012; Stuenkel, 2017)

Com as bases já estabelecidas em reuniões anteriores, a crise financeira de 2008 serviu como o impulso que faltava para a criação de uma cúpula independente entre os quatro países. Enquanto a crise, com epicentro nos Estados Unidos (EUA), se espelhava pelas principais economias desenvolvidas do mundo, os países do BRIC não apenas discutiam estratégias para se proteger da crise como também exploravam maneiras de aproveitar essa oportunidade para aumentar sua influência nas estruturas globais (Cooper, 2016; Stuenkel, 2017).

As implicações da crise não apenas intensificaram, mas também consolidaram as estruturas de cooperação construídas entre os países do BRIC. Sob a orientação dos seus chefes de estado, os ministros de Relações Exteriores desses países tomaram medidas significativas para coordenar a tomada de decisões em questões econômicas importantes (Cooper, 2016). Após a quebra do banco de investimento Lehman Brothers, os ministros da economia e presidentes dos bancos centrais dos países se reuniram quatro vezes para discussão de quais medidas deveriam ser tomadas em conjunto pelo grupo. Essas reuniões foram percebidas globalmente como um símbolo do estreitamento dos laços de cooperação estratégica entre os países. Os resultados das pressões organizadas pelo grupo puderam ser observados já no ano de 2008. Menos afetados pela crise, os quatro países conseguiram a influência necessária para pautar parte da agenda política global, desempenhando um papel fundamental durante a primeira conferência dos chefes de estado do G20⁶, realizada em novembro daquele ano na cidade de Washington, D.C e na seguinte realizada em Londres em 2009 (Stuenkel, 2017).

Segundo Stuenkel (2017) dois argumentos justificam a realização da primeira cúpula dos BRICs no ano de 2009 em Ekaterinburgo na Rússia. O primeiro diz respeito à conjuntura econômica da época e à relativa estabilidade com a qual os quatro países conduziram suas economias durante a crise. Isso elevou sua influência na economia mundial, dando às suas sugestões a legitimidade necessária para serem consideradas na tomada de decisão global. O segundo argumento fala que a cúpula não foi realizada apenas pensando nos benefícios da cooperação intra-BRICs, mas também papel desempenhado na elevação do *status quo* dos países pertencentes ao grupo, os colocando como os representantes de algumas das economias mais dinâmicas do mundo e os consolidando como potências emergentes.

A segunda Cúpula dos líderes dos BRICs aconteceu em abril de 2010 agora na capital brasileira. Esse evento trouxe uma das declarações mais importantes já feita pelo grupo. No

⁶ África do Sul, Alemanha, Arábia Saudita, Argentina, Austrália, Brasil, Canadá, China, Coreia do Sul, Estados Unidos, França, Índia, Indonésia, Itália, Japão, México, Reino Unido, Rússia, Turquia e União Européia.

terceiro ponto da Declaração Conjunta dos Chefes de Estado do BRIC, o grupo de países defendia que o G20 deveria ser o principal fórum global para coordenação da economia internacional. A justificativa era de que “...*comparado com acordos anteriores, o G-20 é mais amplo, mais inclusivo, diversificado, representativo e eficaz.*” (BRIC, 2010). Ainda nessa declaração o grupo pediu por uma reforma nas instituições de Bretton Woods. No décimo primeiro ponto da declaração os países acordaram que:

Reformar as estruturas de governança dessas instituições requer, antes de tudo, uma mudança substancial no poder de voto em favor das economias de mercado emergentes e dos países em desenvolvimento, para alinhar sua participação na tomada de decisões com seu peso relativo na economia mundial (BRIC, 2010).

Essa conferência também marcou o começo da cooperação intra-BRIC com a criação de uma série de atividades em conjunto em diferentes áreas de atuação (Stuenkel, 2017). A cúpula marca também o início do processo de expansão do grupo. Como o Brasil havia sediado no dia anterior a cúpula do IBAS (Índia, Brasil e África do Sul), o presidente da África do Sul à época também pode participar de uma série de reuniões bilaterais com os países do grupo, no que foi o primeiro aceno da África do Sul aos BRIC (Stuenkel, 2017).

O interesse sul-africano data de antes da cúpula de 2010, com uma carta sendo enviada para os países do grupo ainda no ano de 2009 durante a primeira cúpula. No ano seguinte o país iniciou uma campanha diplomática fortíssima enviando representantes para os quatro países do grupo buscando fechar acordos comerciais e mostrar a África do Sul como uma potência regional com potencial para agregar ao grupo (Stuenkel, 2017).

Ribeiro e Moraes (2015) abordam a integração da África do Sul ao grupo BRIC, enfatizando a dualidade entre as possíveis vantagens econômicas e simbolismo associado a decisão. Segundo os autores, essa característica simbólica dá mais peso as reivindicações do grupo por maior poder em instituições multilaterais e a expansão da presença dentro do continente africano. Esse aumento do peso se dá pela forma que a África do Sul passa a fazer parte do grupo, com o *status* de representante da comunidade africana, elevando o continente ao grupo da América Latina e da Ásia e às chamadas economias em transição.

Em abril de 2011, durante a terceira cúpula dos BRICS, em Sanya na China, a África do Sul ingressa formalmente no grupo, consolidando de vez a posição do grupo como o grande representante do Sul Global no cenário da geopolítica mundial (Ribeiro e Moraes, 2015).

3.2 CARACTERÍSTICAS DOS PAÍSES DO GRUPO

3.2.2 Brasil

Ao longo dos séculos, o Brasil testemunhou transformações sociais e políticas significativas, desde o período colonial até a independência em 1822 e a proclamação da República em 1889. Desde os tempos coloniais, quando desempenhava um papel crucial como fonte de financiamento para a expansão do império português, o território brasileiro tem sido uma peça fundamental na economia global (Cheng et al, 2005).

Durante o último século, o Brasil tem experienciado uma série de transformações na sua posição econômica, saindo de um mero exportador de produtos primários e emergindo como um destino atrativo para investimento estrangeiro (Cheng et al, 2005). Segundo dados do Relatório de Investimento Direto publicado em 2022 pelo Banco Central do Brasil, no final de 2021, a posição de Investimento Direto no País (IDP), que representa o investimento estrangeiro no Brasil, atingiu um recorde de US\$901,4 bilhões, correspondendo a 57,0% do total de passivos externos do país (Banco Central do Brasil, 2022).

No que se refere ao crescimento geral da economia brasileira, a partir de 2003 pode ser destacada uma combinação de fatores relevantes. O país se beneficiou do aumento na demanda global por *commodities*, impulsionando as exportações e gerando receitas significativas. Além disso, a plena liquidez de capital para países emergentes, decorrente das baixas taxas de juros nos Estados Unidos, zona do euro, Reino Unido e Japão, também desempenhou um papel crucial nesse cenário positivo aumentando o fluxo de capitais para países emergentes (Cheng et al, 2005; Corsi et al, 2019).

Atualmente a economia do Brasil se destaca como a mais expressiva da América Latina e do Hemisfério Sul, ocupando a segunda posição no continente americano, atrás apenas dos Estados Unidos. Em termos de posicionamento global, o FMI previu que ao final de 2023 a economia brasileira seria a nona maior economia do mundo, atrás apenas dos países do G7 (com exceção do Canadá), China e Índia⁷ (Fundo Monetário Internacional, 2023).

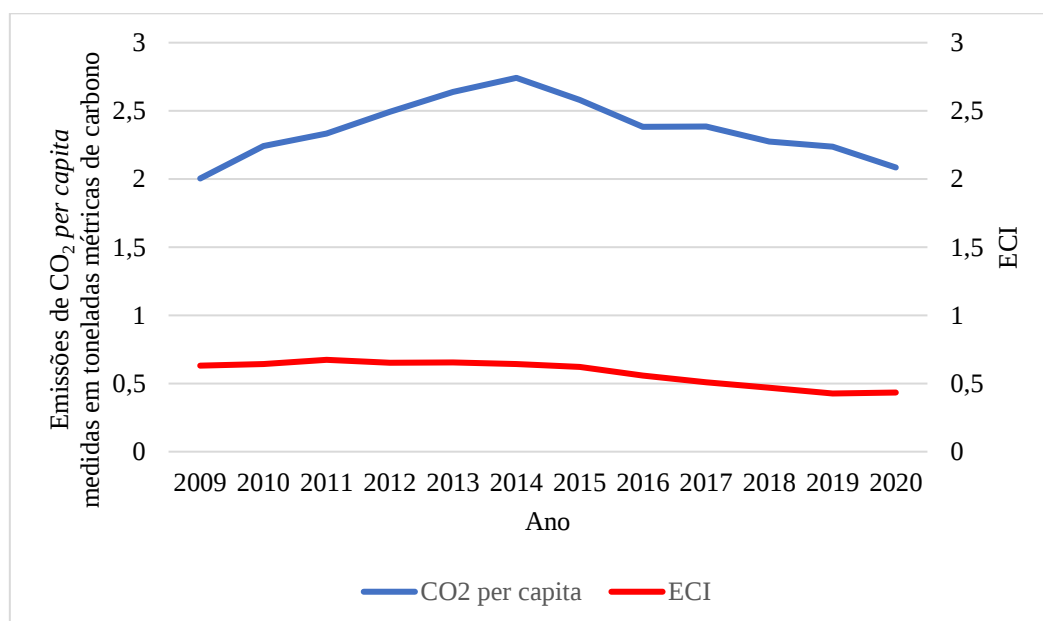
Em termos de análise da complexidade econômica do país, foco desta monografia, no âmbito das metodologias empregadas para calcular o Índice de Complexidade Econômica, o Brasil está classificado em 49º lugar na abordagem de trocas comerciais; 12º lugar na

⁷ Dados agregados pelo FMI no relatório *World Economic Outlook: Navigating Global Divergences* de outubro de 2023.

metodologia de tecnologia; e 20º lugar na metodologia de publicação de pesquisa (Observatório da Complexidade Econômica, 2022). Segundo dados do Comex Stat, no ano de 2023, o país registrou exportações totais no valor de US\$310 bilhões, sendo a soja, petróleo bruto e minério de ferro os principais produtos exportados e China, EUA e Argentina os principais destinos das exportações (Comex Stat, 2023).

O Gráfico 1 traz um comparativo da relação entre o Índice de Complexidade Econômica e as emissões de CO₂ *per capita*, que permite obter uma verificação prévia de como se comporta a relação dessas duas variáveis.

Gráfico 1- Relação CO₂ x ECI no Brasil



Fonte: Elaboração própria com dados retirados do *Observatory of Economic Complexity* (2022) e *World Bank* (2023).

A análise do gráfico revela que, em geral, existe uma correlação positiva entre as duas variáveis. Isso significa que, à medida que o ECI aumenta, as emissões de CO₂ *per capita* também aumentam, com a relação inversa também sendo verdade. No entanto, para o caso brasileiro, existe um fator atenuante nessa relação, uma vez que o país é um dos mais produtores de energia limpa do mundo.

Em 2020, a matriz energética brasileira era composta por mais de 50% de fontes renováveis (*World Bank*, 2023)⁸, além disso, no valor mais baixo do período estudado, durante a crise hídrica que durou de 2014 a 2016 (Lazaro, 2023), o país ainda manteve níveis altos de

⁸ Dados produzidos pelo IEA, IRENA, UNSD, *World Bank*, WHO (2023)

produção de energia renovável, com mais de 41% de todo consumo do país. Isso dá ao país uma matriz energética que permite o planejamento de um crescimento sustentável.

3.2.3 Rússia

A trajetória econômica da Rússia é longa e cheia de nuances. Ao decorrer do século XIX, a Rússia era caracterizada por uma economia predominantemente agrária, graças a sua grande extensão de terra e uma estrutura social quase que feudal. No entanto, o cenário se altera drasticamente durante os anos da União Soviética, quando a Rússia se transformou em uma potência industrial de grande porte, com implicações não apenas na economia russa, mas também no cenário geopolítico global (Zhuravskaya; Guriev; Markevich, 2023).

As transformações implementadas durante a década de 80 por Mikhail Gorbachev culminaram na dissolução da União Soviética, resultando na independência da Rússia e de outras 14 repúblicas, as quais adotaram economias de mercado. O período pós-soviético da Rússia foi marcado por desafios tanto econômicos quanto políticos, com a necessidade de consolidação de um novo sistema político democrático e a transição gradual de uma economia planificada para uma economia de mercado (Cheng et al, 2005; Gevorkyan, 2013).

Em 1991, a economia russa encontrava-se em estado de crise, evidenciado por inflação descontrolada, alta dívida externa, queda nos investimentos e redução da receita fiscal, todos sintomas de uma recessão econômica. Assim, a árdua tarefa de reconstrução da ordem social no país era enfrentada com recursos mínimos (Connolly, 2020).

Além dos desafios econômicos, a dissolução da União Soviética trouxe um problema na cadeia produtiva russa, pois a aquisição de insumos das ex-repúblicas soviéticas passou de questão interna para comércio internacional. Isso elevou os custos da manufatura russa, tornando seus produtos pouco competitivos globalmente. Assim, a economia russa continuava dependente da exploração de recursos energéticos, perpetuando um legado da era soviética (Cheng et al, 2005; Connolly, 2020).

A Crise do Rublo em 1998 evidenciou a falha do processo de reforma econômica na Rússia. A tentativa de construir uma economia de mercado resultou em consequências tão problemáticas quanto aquelas geradas pela economia planificada da era soviética. Somente com a ascensão de Vladimir Putin ao cargo de Primeiro Ministro em 16 de Agosto de 1999 e a centralização do poder em Moscou é que a economia russa conseguiu aliviar-se do estado de crise em que se encontrava. O país registrou taxas de crescimento em torno de 6,45% após a crise de 1998 e de 10% em 2000, seguidas por médias estáveis entre 6,6% e 6,8% até 2007,

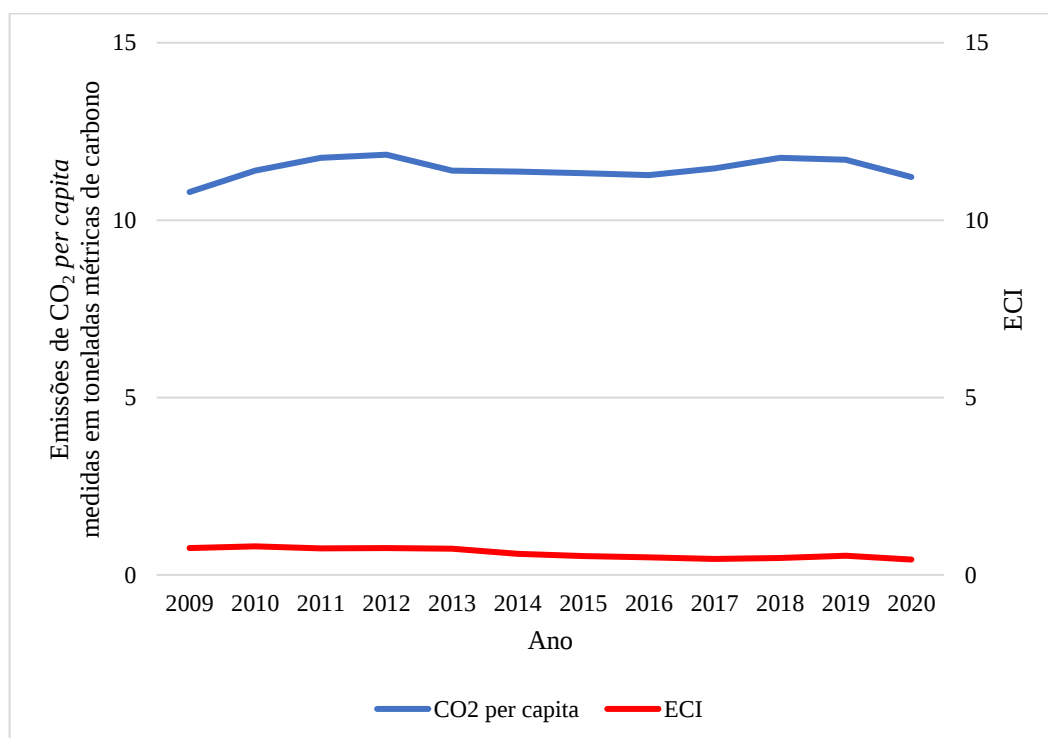
antes da crise de 2008. Uma das razões para esse nível de crescimento pode ser atribuída à desvalorização do rublo, tornando os *commodities* exportados pela Rússia mais atrativos no mercado externo (Cheng et al, 2005; Connolly, 2020; Gevorkyan, 2013).

Atualmente, o FMI prevê que a Rússia encerre o ano de 2023 como a décima primeira do mundo, uma queda de três posições em relação a 2022 (Fundo Monetário Internacional, 2023). Uma das possíveis explicações para essa queda pode estar nas consequências as sanções sofridas em virtude da invasão da Ucrânia em 2022 que isolou a Rússia do sistema financeiro ocidental.

No âmbito das metodologias empregadas para calcular o Índice de Complexidade Econômica, a Rússia está classificada em 45º lugar na abordagem de trocas comerciais, 17º lugar na metodologia de tecnologia e 40º lugar na metodologia de publicação de pesquisa.

O Gráfico 2 traz um comparativo da relação entre seu Índice de Complexidade Econômica e as emissões de CO₂ *per capita* medidas em toneladas métricas de carbono.

Gráfico 2 - Relação CO₂ x ECI na Rússia



Fonte: elaboração própria com dados retirados do *Observatory of Economic Complexity* (2022) e *World Bank* (2023).

A análise do gráfico revela uma tendência de relativa estabilidade entre as duas variáveis, essa relação pode ser explicada ao analisar o perfil da indústria produtiva russa. Segundo dados do Observatório da Complexidade Econômica, no ano de 2021, o país registrou

exportações totais no valor de US\$484 bilhões, sendo petróleo cru, petróleo refinado e gás natural os principais produtos exportados e os principais destinos das exportações (Observatório da Complexidade Econômica, 2022).

3.2.3 Índia

Geograficamente, a Índia está situada no sul da Ásia, sendo o sétimo maior país do mundo em termos de área e o segundo em população, ficando atrás apenas da China. Obteve independência do Reino Unido em 1947, tornando-se desde então uma república democrática com um sistema parlamentar multipartidário. Desde a independência, a economia indiana foi fortemente influenciada pelos modelos soviéticos, adotando políticas econômicas protecionistas, com ênfase na industrialização por substituição de importações, intervencionismo econômico, amplo setor público sob gestão governamental, regulação empresarial e planejamento central. Essa abordagem ficou conhecida como *Licence Raj*. (Chandrasekhar, 2010; Cheng et al, 2005; Mazumdar, 2012).

O crescimento durante esse período foi variável. Apesar de manter uma média positiva de 4,97% entre 1961 e 1990, o modelo de intervenção estatal enfrentou uma série de desafios. Os investimentos na construção de uma indústria nacional não foram distribuídos uniformemente entre todos os setores, concentrando-se principalmente em indústrias intensivas em capital, o que teve um impacto limitado no mercado interno de produtos de consumo em grande escala. Além disso, a ênfase no modelo de substituição de importações fechou o mercado indiano para a economia global (Mazumdar, 2012).

A década de 80 trouxe algumas mudanças tímidas em termos de liberalização econômica, mas foi somente no ano de 1991 que aconteceu uma quebra na política econômica indiana. Os gestores de política resolveram romper com a política de economia planificada e assumir um viés mais voltado para uma economia globalizada de mercado. Como resultado, a economia indiana experimentou nas duas décadas uma taxa de crescimento de 8%, aumentando a quantidade de empregos ofertados, melhoras no mercado financeiro indiano e um aumento no consumo das famílias (Cheng et al, 2005; Mazumdar, 2012).

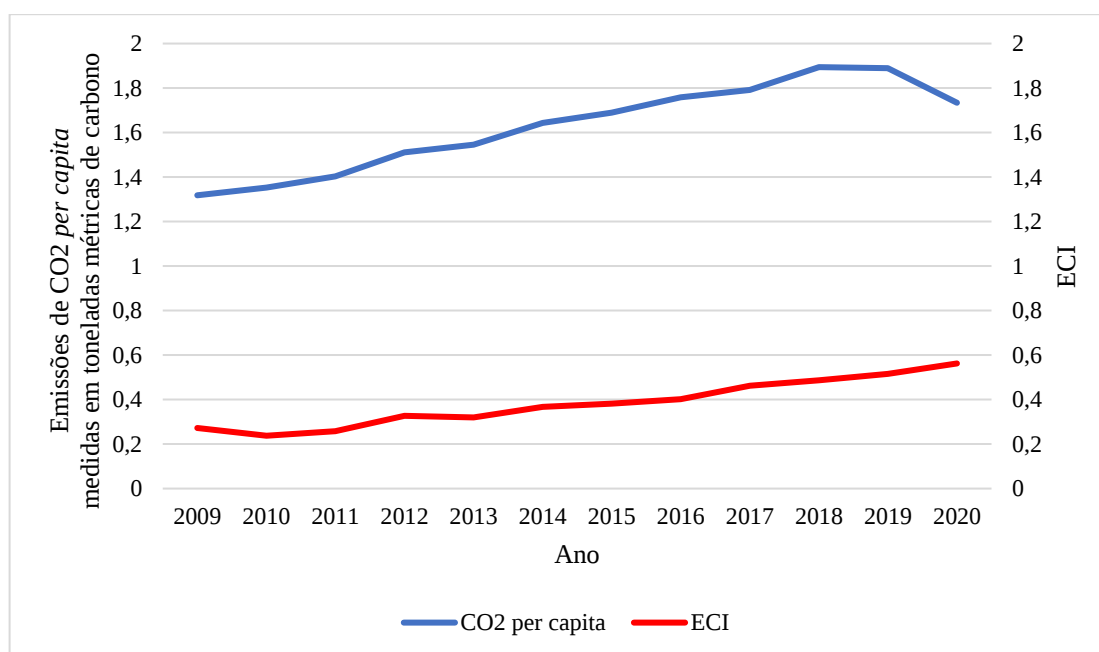
Desde então a economia indiana tem se caracterizado por sua diversidade. Segundo a Agência Nacional de Promoção e Facilitação de Investimentos, a economia indiana recebeu entre 2000 e 2023 o equivalente a 953.143 bilhões de dólares em investimento estrangeiro. A respeito da força de trabalho, segundo dados do Banco Mundial de 2021 (*World Bank*, 2021)

aproximadamente 44% da população economicamente ativa da Índia se encontra no setor agrícola, enquanto 25,3% estão no setor da indústria e 30.7% no setor de serviços⁹.

No âmbito das metodologias empregadas para calcular o Índice de Complexidade Econômica, a Índia está classificada em 41º lugar na abordagem de trocas comerciais, 22º lugar na metodologia de tecnologia e 68º lugar na metodologia de publicação de pesquisa. Ainda segundo dados do Observatório da Complexidade Econômica, no ano de 2021, o país registrou exportações totais no valor de US\$ 403 bilhões, sendo petróleo refinado, diamantes e suprimentos farmacêuticos os principais produtos exportados e Estados Unidos, Alemanha e Suíça os principais destinos das exportações (Observatório da Complexidade Econômica, 2022).

O Gráfico 3 traz um comparativo da relação entre o Índice de Complexidade Econômica e as emissões de CO₂ *per capita*.

Gráfico 3 - Relação CO₂ x ECI na Índia



Fonte: elaboração própria com dados retirados do *Observatory of Economic Complexity* (2022) e *World Bank* (2023).

A análise do gráfico indiano revela uma relação positiva entre as variáveis até o 2018, seguido de uma mudança na relação entre as variáveis para os últimos dois anos do estudo. Essa mudança pode indicar uma melhoria na eficiência de carbono ou uma mudança para fontes de

⁹ Dados agregados pelo Banco Mundial e produzidos pelo *International Labour Organization*. “*ILO modelled estimates database*”.

energia mais limpas, uma vez que o ECI continua em uma tendência crescente nesse cenário, indo de encontro com a hipótese da EKC.

3.2.4 China

Localizada no leste asiático e com uma área total de 9.6 milhões de quilômetros quadrados, a República Popular da China é o quarto maior país do mundo em termos de área, o primeiro em população com aproximadamente 1,41 bilhões de habitantes¹⁰ e, segundo dados do Banco Mundial (*World Bank*, 2022), a segunda maior economia do mundo, com um PIB estimado de 17,73 trilhões de dólares para o ano de 2022 e, desde 2016, a maior economia do mundo quando analisada sobre a ótica da paridade de poder de compra¹¹.

Historicamente, a China teve papel de destaque na economia mundial. Entre 1700 e 1820 o PIB (produto interno bruto) da China teve um crescimento mais acelerado do que o da Europa no século XVIII, mesmo com o aumento de um quarto no rendimento *per capita* europeu. Porém durante o século XIX e início do século XX, a China experimentou invasões estrangeiras, guerras e agitações internas, levando a um declínio significativo de sua posição no cenário mundial. Esse período resultou em duas revoluções, a primeira em 1911 que levou a queda da dinastia Qing e a proclamação da República da China e a segunda, uma guerra civil em 1949, quando o Partido Comunista Chinês, liderado por Mao Zedong, estabeleceu a República Popular da China (Maddison, 2007).

A ascensão do Partido Comunista Chinês marcou uma mudança significativa na dinâmica econômica da China. As consequências da guerra tornaram ainda mais desafiador o desenvolvimento da região, uma vez que o partido nacionalista, derrotado no conflito, havia fugido com as reservas de ouro, prata e dólares do país para Taiwan (Karl, 2010). Como resposta as dificuldades, a economia chinesa adotou um modelo de economia planificada, semelhante ao da União Soviética. Após um século marcado por invasões de potências externas, tanto europeias quanto asiáticas, o novo governo adotou uma abordagem nacionalista, buscando operar com o mínimo de vínculos possível com a economia global. (Maddison, 2007).

¹⁰ Dados agregados pelo Banco Mundial e coletados pelo *United Nations Population Division. World Population Prospects: 2022 Revision; Census reports and other statistical publications from national statistical offices, Eurostat: Demographic Statistics, United Nations Statistical Division. Population and Vital Statistics Report (various years)*, *U.S. Census Bureau: International Database*, e *Secretariat of the Pacific Community: Statistics and Demography Programme*.

¹¹ Dados agregados pelo Banco Mundial e coletados pelo *World Bank national accounts data*, e *OECD National Accounts data files*.

Durante o chamado período maoísta, as medidas do governo minaram significativamente os esforços para desenvolvimento da China. Foi somente em 1978 que a liderança chinesa, através de Deng Xiaoping, optou por realizar uma reforma econômica, indo de uma economia planificada para uma mais voltada para o mercado, porém ainda com uma dura estrutura política controlada pelo Partido Comunista. As reformas substituíram a coletivização das fazendas por pequenas propriedades agrícolas privadas, as atividades industriais e de serviços em pequena escala foram liberadas do controle governamental e a importância de empresas estatais na indústria e nos serviços foi drasticamente reduzida acompanhada do florescimento de uma nova indústria nacional urbana financiada por poupanças domésticas privadas e pela abertura para recebimento de investimento estrangeiro (Cheng et al, 2005; Maddison, 2007).

Desde a abertura em 1978 até 2022, o investimento estrangeiro direto passou por um aumento de altíssimas proporções, indo de cerca de 80 milhões de dólares em 1978 para um recorde de US\$344,07 bilhões em 2021¹² (*World Bank*, 2022). Esse influxo significativo de capital estrangeiro desempenhou um papel crucial no estímulo do crescimento econômico da China. A taxa de crescimento do PIB chinês também foi expressiva nesse período, crescendo em média 9,13% ao ano (*World Bank*, 2022)¹³. O PIB *per capita* também experimentou um avanço exponencial, indo de US\$228,5 por ano para US\$12.720,20¹⁴ (*World Bank*, 2022). A respeito da força de trabalho, segundo dados do Banco Mundial de 2021 aproximadamente 24,4% da população economicamente ativa da China se encontra no setor agrícola, enquanto 28,2% estão no setor da indústria e 47,4% no setor de serviços¹⁵ (*World Bank*, 2021).

No âmbito das metodologias empregadas para calcular o Índice de Complexidade Econômica, a China está classificado em 25º lugar na abordagem de trocas comerciais, 29º lugar na metodologia de tecnologia e 64º lugar na metodologia de publicação de pesquisa. Ainda segundo dados do Observatório da Complexidade Econômica, no ano de 2021, o país registrou exportações totais no valor de US\$ 3.34 trilhões, sendo Equipamentos de Transmissão, Computadores e Circuitos Integrados os principais produtos exportados e Estados

¹² Dados agregados pelo Banco Mundial e coletados pelo *International Monetary Fund, Balance of Payments database, supplemented by data from the United Nations Conference on Trade and Development and official national sources*.

¹³ Dados agregados pelo Banco Mundial e coletados pelo *World Bank national accounts data, and OECD National Accounts data files*.

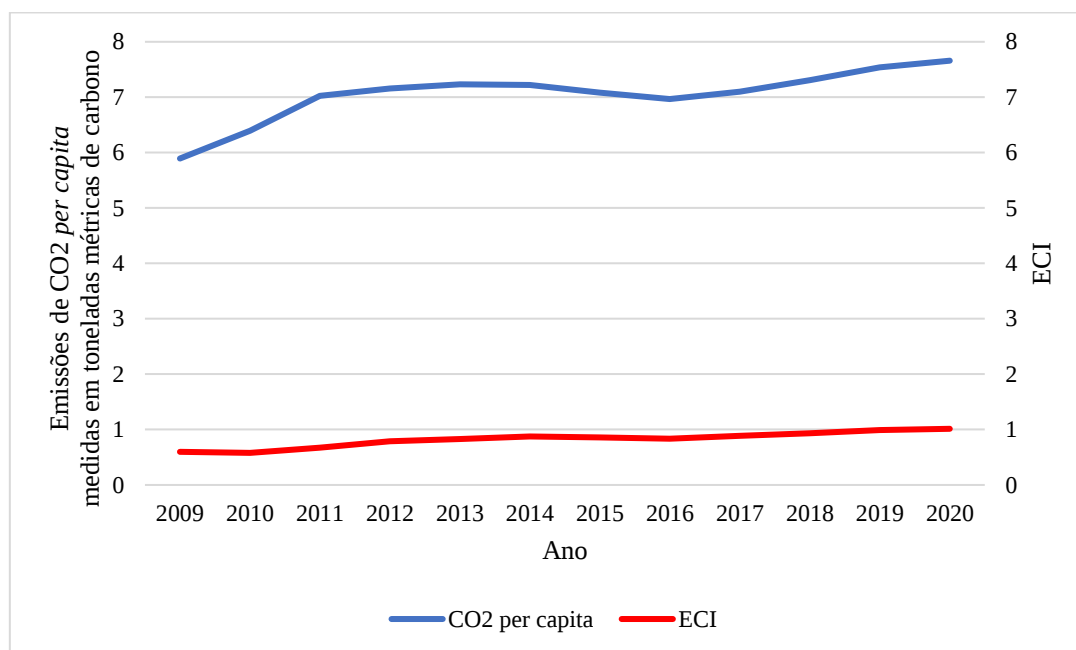
¹⁴ Dados agregados pelo Banco Mundial e coletados pelo *World Bank national accounts data, and OECD National Accounts data files*.

¹⁵ Dados agregados pelo Banco Mundial e produzidos pelo *International Labour Organization. "ILO modelled estimates database"*.

Unidos, Hong Kong e Japão os principais destinos das exportações (Observatório da Complexidade Econômica, 2022).

O Gráfico 4 traz um comparativo da relação entre o Índice de Complexidade Econômica chinês e suas emissões de CO₂ *per capita*.

Gráfico 4 - Relação CO₂ x ECI na China



Fonte: elaboração própria com dados retirados do *Observatory of Economic Complexity* (2022) e *World Bank* (2023).

Ao analisar o gráfico, é possível observar uma leve relação positiva entre as variáveis, indicando que o aumento do ECI na China parece estar associado ao crescimento das emissões de CO₂ *per capita*. Essa relação pode ser explicada pelas altas taxas de crescimento econômico experimentadas pelo país nos últimos anos. Colabora com esse fato o comportamento que a variável do ECI tem apresentado dentro desse período.

3.2.5 África do Sul

Localizada no ponto mais ao sul do continente africano e com uma área total de 1.2 milhões de quilômetros quadrados, a República da África do Sul é o vigésimo quinto país do mundo em extensão territorial e vigésimo terceiro em termos de população com 62 milhões de habitantes segundo o último censo realizado em 2022 (*World Bank*, 2022). Com um PIB de US\$405,22 bilhões de dólares (*World Bank*, 2022), a África do Sul ocupa a terceira colocação

no *ranking* das maiores economias da África, atrás apenas de Nigéria e Egito, e quadragésima no *ranking* global.

O território que hoje é conhecido como África do Sul foi colonizado por dois grupos europeus diferentes, no século XVII pelos holandeses como um ponto de reabastecimento para os navios da Companhia Holandesa das Índias Orientais e ao final do século XVIII pelo Reino Unido com a expansão do território ocupado em um modelo mais tradicional de colônia de exploração. Foi durante o período colonial britânico que foram descobertas as minas de metais e pedras preciosas, principais produtos exportados pelo país até hoje (Schirmer, 2021; Observatório da Complexidade Econômica, 2022).

Durante o período colonial, o território hoje conhecido como África do Sul era composto por quatro regiões: Cabo, Natal, Transvaal e *Orange River*. A exploração de ouro e diamantes desempenhou um papel crucial na rápida expansão econômica das colônias, atraindo grandes fluxos de capital estrangeiro e desempenhando um papel fundamental no desenvolvimento da infraestrutura colonial por meio de acordos entre as companhias exploradoras e a administração dos territórios. No entanto, é importante ressaltar que esse desenvolvimento não foi uniformemente distribuído. As leis discriminatórias promulgadas pelos colonizadores europeus estabeleceram uma hierarquia racial, impondo restrições ao acesso à terra, serviços e direitos civis com base na raça para as populações nativas. (Schirmer, 2021).

Em 1910, os territórios colonizados se unificaram, criando a União Sul Africana, predecessora da República da África do Sul. Foi a partir daí que as já duras leis de segregação racial começaram a ser ainda mais intensificadas, criando os pilares para a política de *apartheid*. Em 1911 foi promulgado o *Mines and Works Act*, que monopolizava o trabalho especializado na mineração e nas ferrovias apenas para trabalhadores brancos. Com o *Land Act* em 1913 houve a segregação da terra com base na raça. Essa legislação reservava aproximadamente 92.5% da terra do país para o uso exclusivo da população branca, enquanto as comunidades negras eram designadas para as áreas restantes, muitas vezes em terras áridas e menos produtivas. A lei restringiu drasticamente o acesso das comunidades negras à terra, limitando suas oportunidades econômicas e contribuindo para a criação de áreas segregadas e empobrecidas (Gomes, 2012; Schirmer, 2021).

Em 1948, com a eleição do Partido Nacional, foi implementada a política de *apartheid*, termo em africâner que significa separação. Durante os primeiros 25 anos, até o início da década de 70, o país experimentou um crescimento econômico praticamente contínuo, resultando em uma melhoria significativa na qualidade de vida da população branca. Durante esse período, as reservas internacionais aumentaram à medida que o país estabelecia relações comerciais com

Estados Unidos, Japão e Reino Unido. Adicionalmente, na década de 50, a África do Sul recebeu uma série de empréstimos do Banco Mundial, destinados a aprimorar a infraestrutura nacional. No entanto, é crucial destacar que as populações negras não usufruíram dos benefícios desse crescimento econômico. As políticas de segregação racial resultaram na formação de uma força de trabalho de baixo custo, caracterizada por baixa qualificação e eficiência, perpetuando assim o ciclo de pobreza no país (Freund e Padayachee, 2021).

A partir da década de 70 o país passou a enfrentar um período de estagnação econômica. Uma série de fatores como o fim dos Acordos de Bretton Woods, o aumento dos preços internacionais do petróleo e uma série de greves e a mobilização dos trabalhadores negros que começaram em Durban alteraram o equilíbrio da balança de pagamentos do país, tornando a economia instável. Aliado a isso, a partir das sanções impostas tanto pelos países da Comunidade Britânica quanto pelos Estados Unidos levou a um isolamento do país, afetando negativamente o comércio exterior e o investimento estrangeiro. Esse cenário culmina com uma série de acordos costurados entre o Partido Nacional e o Congresso Nacional Africano (CNA) para o desmantelamento do regime e a realização de eleições democráticas aonde todos os cidadãos sul-africanos votariam independente de cor ou gênero (Freund e Padayachee, 2021). O ativista Nelson Mandela sai vitorioso e se torna o primeiro presidente negro da África do Sul.

Desde o processo de democratização a África do Sul continua enfrentando problemas quanto as suas baixas taxas de crescimento, segundo dados do Banco Mundial entre 1994 e 2022 o país cresceu, em média, apenas 2,7% ao ano¹⁶ (*World Bank*, 2022). Soma-se a isso ao fato de que o país ainda lida com três grandes consequências do período do *apartheid*: pobreza, desemprego e desigualdade (Tregenna et al, 2021). Segundo um relatório do Banco Mundial de Outubro de 2023, o país conta com uma faixa extremamente alta da população na linha da pobreza para sua renda *per capita*, com 20,9% na linha de extrema pobreza (menos de 2,15 dólares por dia) e 40% na linha da pobreza (menos de 3,65 dólares por dia) (*World Bank*, 2023). Ele é também um dos mais desiguais do mundo, com um índice de Gini de 0,63¹⁷ (*World Bank*, 2023)., e com uma das maiores taxas de desemprego do mundo, 32,6% segundo pesquisa realizada no segundo trimestre de 2023 pelo Departamento de Estatística da África do Sul. A respeito da população empregada, segundo dados do Banco Mundial a maior parte da população empregada sul-africana se encontra no setor de serviços, 61,4%, enquanto agricultura e indústria ocupam, respectivamente, 21,3% e 17,3%.

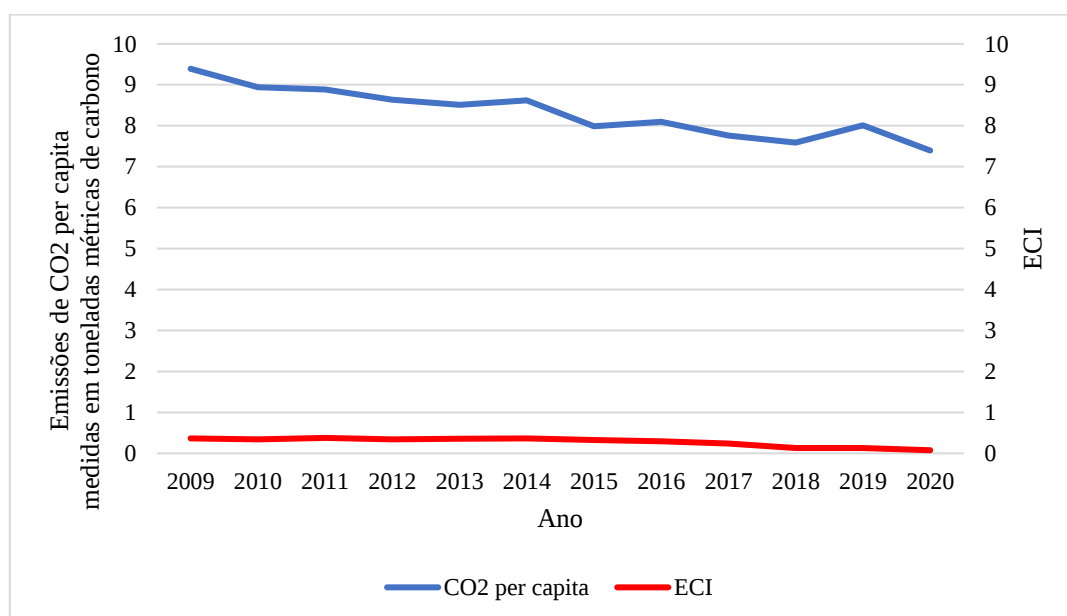
¹⁶ Dados agregados pelo Banco Mundial e coletados pelo *World Bank national accounts data, and OECD National Accounts data files*.

¹⁷ Dados coletados pelo Banco Mundial

No âmbito das metodologias empregadas para calcular o Índice de Complexidade Econômica, a África do Sul está classificada em 59º lugar na abordagem de trocas comerciais, 24º lugar na metodologia de tecnologia e 21º lugar na metodologia de publicação de pesquisa. Ainda segundo dados do Observatório da Complexidade Econômica, no ano de 2021, o país registrou exportações totais no valor de US\$ 143 bilhões, sendo Platina, Ouro e Minério de Ferro os principais produtos exportados e China, Alemanha e Reino Unido os principais destinos das exportações (Observatório da Complexidade Econômica, 2022).

O Gráfico 5 traz um comparativo da relação entre o Índice de Complexidade Econômica e as emissões de CO₂ *per capita*.

Gráfico 5 - Relação CO₂ x ECI na África do Sul



Fonte: *Observatory of Economic Complexity* (2022) e *World Bank* (2023).

Ao analisar o gráfico, é possível observar que a África do Sul é o único país do grupo que vem apresentando uma tendência de queda entre as variáveis. A relação entre ambas continua positiva, porém o que pode ser observado assim é um processo de perda de complexidade da economia que tem se refletido em uma emissão menor de poluentes.

3.4 A EXPANSÃO DO GRUPO

Durante a 15ª Cúpula dos BRICS, realizada de 22 a 24 de agosto de 2023 em Joanesburgo, África do Sul, foi anunciada a expansão do bloco. Seis países de três continentes

foram convidados a ingressar no grupo a partir de 1º de janeiro de 2024: Arábia Saudita, Argentina, Egito, Etiópia, Emirados Árabes Unidos e Irã (BBC, 2023; África News, 2023).

A expansão já era esperada, uma vez que foi o principal tema de discussões da décima quinta cúpula do grupo. Especialistas em política internacional, consultados pelas emissoras britânicas BBC e *Reuters*, apontam que a liderança na iniciativa foi desempenhada pela China, que viu nela uma oportunidade de diminuir o isolamento causado pelo aumento das tensões com os EUA frente as denúncias de espionagem. Além da China, a Rússia também enxergou na expansão uma alternativa as sanções comerciais impostas pelos EUA e União Europeia (BBC, 2023; Plessis, Miridzhanian e Acharya, 2023).

Com exceção da Argentina, que, após as eleições de 2023, decidiu recusar o convite do grupo, os demais países convidados tornaram-se membros dos BRICS em 1º de janeiro de 2024. Em termos de potencial econômico, agora fazem parte do grupo o maior exportador de petróleo bruto do mundo (Arábia Saudita) e o detentor da maior reserva de gás natural do planeta (Irã) (Plummer, 2023).

4 DESENVOLVIMENTO DO MODELO E ANÁLISE INTERPRETATIVA DOS RESULTADOS

4.1 APRESENTAÇÃO DO MODELO E DA BASE DE DADOS

A seção de revisão de literatura empírica, no Capítulo 2, permitiu explorar diferentes maneiras de aplicação da relação entre a complexidade econômica e a emissão de poluentes. Trabalhos como o de Chu (2021) e Aluko, Opoku e Acheampong (2022) utilizaram o modelo STIRPAT para relacionar o indicador de complexidade econômica a degradação ambiental. Esse modelo fornece uma identificação para as principais variáveis que poderiam impactar na emissão dos poluentes.

Além da investigação dessa relação, o trabalho de Chu (2021) preocupa-se também em verificar a existência de uma curva do tipo “U-invertido”, sugerindo uma relação parecida com aquela pressuposta na teoria da curva ambiental de Kuznets entre o ECI e as emissões de CO₂. A partir destas considerações, esta monografia se baseou nos trabalhos de Chu (2021) e Aluko, Opoku e Acheampong (2022) para também estabelecer um modelo econométrico fundamentado no modelo STIRPAT, considerando inclusive a possibilidade da ocorrência de uma curva do tipo “U-invertido”.

O modelo aqui proposto pode ser visto abaixo na Equação (1):

$$\begin{aligned}
 CO_2 \text{ per capita } i,t &= \beta_0 + \beta_1 ECI_{i,t} + \beta_2 PIB_{\text{per capita } i,t} + \beta_3 (PIB_{\text{per capita } i,t})^2 \\
 &+ \beta_4 População_{i,t} + \beta_5 Intensidade \text{ Energética}_{i,t} + \delta X_{i,t} + \theta_{it} + \theta_{jt} \\
 &+ \theta_{ij} + \mu_{ijt}
 \end{aligned} \tag{1}$$

Nessa equação, a variável *proxy* para a degradação ambiental será o CO₂ *per capita* do país *i* no ano *t*, representando todas as emissões de CO₂ advindas da queima de combustíveis fósseis e da produção de cimento. Aqui estão incluídas todo dióxido de carbono produzido durante o consumo de combustíveis sólidos, líquidos e gasosos e da queima de gás. A variável explicativa de interesse do modelo será o índice de complexidade econômica (ECI), enquanto PIB *per capita*, PIB *per capita*², população, intensidade energética e “X” serão consideradas as variáveis de controle do modelo. Por se tratar de uma análise de dados em painel estático, Θ e μ representam, portanto, os efeitos do painel e o termo de erro.

O CO_2 *per capita* é medido em termos de toneladas métricas *per capita*, enquanto o PIB *per capita* é medido a valores constantes em dólar de 2015. Considerando a hipótese da EKC, foi incluído no modelo o termo ao quadrado do PIB *per capita* para testar a existência de uma curva do tipo U invertido. A população se encontra em números absolutos, enquanto a intensidade energética é medida em termos de energia primária por dólar do produto interno bruto em dólares americanos constantes de 2017, ajustados pelo poder de compra. Finalizando, a variável “X” representa uma série de variáveis de controle que serão utilizados para estimar derivações desse modelo, as variáveis são: abertura comercial, uso de energias renováveis, número de patentes registradas por residentes e não residentes e urbanização.

Por se tratar de países em desenvolvimento, o modelo espera encontrar uma relação positiva entre as emissões de CO_2 e o Índice de Complexidade Econômica (ECI). Isso é justificado pela ideia de que mudanças na estrutura produtiva do país trazem consigo um aumento na emissão de poluentes. É esperado que as variáveis PIB *per capita* e o termo ao quadrado do PIB *per capita* possuam sinais opostos, com o primeiro sendo positivo e o segundo negativo, provando o pressuposto da EKC.

Além disso, é previsto um impacto positivo nas variáveis de população, urbanização, e intensidade energética, uma vez que o crescimento nessas áreas indica uma demanda crescente por energia e recursos. Por outro lado, espera-se que as variáveis associadas à tecnologia — como o número de patentes, o percentual de consumo de energia renovável e os investimentos e abertura comercial — apresentem sinais negativos. Essa expectativa se baseia na associação de que avanços tecnológicos propiciam processos de produção mais eficientes e limpos, reduzindo, assim, as emissões de CO_2 . Na variável de abertura comercial open é esperado um sinal negativo, graças aos avanços tecnológicos trazidos pelo intercâmbio comercial.

Um aspecto relevante a ser considerado é que, com base nos pressupostos da EKC, é esperada uma relação não linear entre as variáveis relacionadas ao PIB *per capita*¹⁸. Por essa razão o logaritmo natural não foi aplicado em ambas. Todas as demais variáveis do modelo foram transformadas para logaritmo natural.

O Quadro 2 abaixo ilustra todas as variáveis usadas durante os testes do modelo, seus sinais, nomes originais e fontes.

Quadro 2 - Síntese das variáveis e sinal esperado

Variável	Sinal Esperado	Fonte
----------	----------------	-------

¹⁸ Este procedimento é feito em Chu (2021) e Aluko, Opoku e Acheampong (2022)

CO2pc: medido em termos de toneladas métricas <i>per capita</i>	-	CO ₂ <i>emissions (metric tons per capita)</i> , agregados em <i>World Bank</i> ¹
ECI: Índice de Complexidade Econômica	Positivo	<i>Economic Complexity Index</i> , produzido pelo <i>Observatory of Economic Complexity</i> (OEC)
PIBpc: PIB dividido pela população total do país	Positivo	<i>GDP per capita (constant 2015 US\$)</i> , produzidos pelo <i>World Bank</i>
pop: total de habitantes em números absolutos	Positivo	<i>Population, total</i> , dados agregados pelo <i>World Bank</i> ²
Enrgint: intensidade energética medida em termos de energia primária por dólar do produto interno bruto em dólares americanos constantes de 2017	Positivo	<i>Energy intensity level of primary energy</i> (MJ/\$2017 PPP GDP), dados agregados pelo <i>World Bank</i> ³
tech: quantidade de patentes solicitadas por residentes e não residentes	Negativo	<i>Patent applications: nonresidents</i> ; <i>Patent applications: residents</i> ; dados agregados pelo <i>World Bank</i> ⁴
Pd: gastos brutos com pesquisa e desenvolvimento (% do PIB)	Negativo	<i>Research and development expenditure (% of GDP)</i> , dados agregados pelo <i>World Bank</i> ⁵
rnw: porcentagem de energia renovável utilizada em todo o consumo de energia	Negativo	<i>Renewable energy consumption (% of total final energy consumption)</i> dados agregados pelo <i>World Bank</i> ³
Open: Abertura comercial (Importação + exportação em % do PIB)	Negativo	<i>Trade (% of GDP)</i> , dados produzidos pelo <i>World Bank</i> e OECD
Ind: valor adicionado da indústria (% do PIB)	Positivo	<i>Industry (including construction)</i> , value added (% of GDP), dados produzidos pelo <i>World Bank</i> e OECD
FBC: formação bruta de capital fixo (% do PIB)	Positivo	Gross fixed capital formation (% of GDP) dados produzidos pelo <i>World Bank</i> e OECD

Urb: pessoas vivendo em áreas urbanas (% da população)	Positivo	Urban population (% of total population) dados agregados pelo <i>World Bank</i> ⁶
--	----------	--

Nota 1: dados produzidos pelo *Climate Watch Historical GHG Emissions* (1990-2020). 2023. Washington, DC: *World Resources Institute*

Nota 2: dados produzidos por: (1) *United Nations Population Division. World Population Prospects: 2022 Revision*, (2) *Census reports and other statistical publications from national statistical offices*, (3) *Eurostat: Demographic Statistics*, (4) *United Nations Statistical Division. Population and Vital Statistics Report (various years)*, (5) *U.S. Census Bureau: International Database*, e (6) *Secretariat of the Pacific Community: Statistics and Demography Programme*.

Nota 3: dados produzidos pelo IEA, IRENA, UNSD, *World Bank*, WHO. 2023

Nota 4: dados produzidos pelo *World Intellectual Property Organization* (WIPO)

Nota 5: dados produzidos pelo Instituto de Estatística da UNESCO (UIS). 2023

Nota 6: dados produzidos pelo *United Nations Population Division. World Urbanization Prospects: 2018 Revision*.

Fonte: elaboração própria.

Todas as variáveis, com exceção do ECI, que foi retirado do *Observatory of Economic Complexity* do MIT (OEC, 2021), foram retiradas do *World Bank* (*World Bank*, 2023). O período de início do estudo é o ano 2009, quando foi realizada a primeira cúpula dos BRICs. A escolha do ano de 2020 como período final da análise se dá pela limitação dos dados a respeito das emissões de CO₂ *per capita*. As estatísticas descritivas dos dados podem ser encontradas no apêndice A em anexo.

4.2 DADOS EM PAINEL

Nos dados em painel, também conhecidos como dados longitudinais, informações sobre um conjunto fixo de participantes (indivíduos, empresas, países, etc.) são monitoradas repetidamente ao longo de um período determinado. Essa abordagem permite a análise de mudanças e tendências dentro do grupo ao longo do tempo, fornecendo insights valiosos para entender padrões de comportamento, evolução de variáveis e impacto de intervenções (Gujarati e Porter, 2011).

O uso de dados em painéis para pesquisas econômicas apresenta algumas vantagens quando comparado com análises mais convencionais, como dados de corte transversal ou séries temporais. Uma dessas vantagens é o controle mais efetivo da heterogeneidade individual ao longo do tempo, uma vez que, diferente das análises convencionais, ele leva em consideração as heterogeneidades entre os objetos de pesquisa. Além disso, ele é mais eficiente em fornecer dados mais informativos, maior variabilidade, menos colinearidade entre variáveis, mais graus de liberdade e mais eficiência (Baltagi, 2008; Gujarati e Porter, 2011; Hsiao, 2003).

Os dados em painel também são mais eficientes para estudar dinâmicas de ajuste, analisar mudanças ao longo do tempo e abordar questões importantes relacionadas a estados econômicos, desemprego, pobreza e políticas de desenvolvimento. Além disso, apresentam maior robustez na hora de medir efeitos e dinâmicas que não são totalmente compreendidos por um corte transversal puro ou em uma série temporal pura. Também permitem o estudo de modelos de comportamento mais complicados, além de possuírem menos restrições quando usados em modelos de defasagem distribuída quando comparados com séries temporais puras (Baltagi, 2008; Gujarati e Porter, 2011).

Durante a fase de tratamento dos dados para a realização da estimação é importante considerar a distinção entre dados balanceados e não balanceados. Um painel é chamado balanceado caso todas as unidades do seu conjunto de dados possuam observações para o período analisado. Por outro lado, um painel é chamado não balanceado quando algumas unidades observadas contem com uma ausência de dados em alguns períodos, tornando a estrutura do conjunto mais heterogênea (Gujarati e Porter, 2011).

Os painéis também podem ser classificados como curtos ou longos. Em painéis curtos, o número de sujeitos de corte transversal é menor que o número de períodos de tempo analisados, enquanto em painéis longos ocorre o inverso. Com base no tipo de painel escolhido, opta-se por uma das quatro maneiras de estimar o modelo: MQO para dados empilhados, MQVD para efeitos fixos, o modelo de efeitos fixos dentro de um grupo e o modelo de efeitos aleatórios. No MQO para dados empilhados, todas as observações são empilhadas, e uma regressão é estimada, desconsiderando a natureza de corte transversal e das séries temporais dos dados. Já no MQVD, as observações são combinadas, mas cada unidade de corte transversal recebe sua própria variável *dummy*. No modelo de efeitos fixos, as observações são agrupadas, com cada variável expressa como um desvio em relação à sua média, em seguida, realiza-se uma regressão de MQO para os valores corrigidos em relação à média de cada observação. Finalizando, o modelo de efeitos aleatórios assume a existência de uma variável não observada, denominada efeito aleatório, que é constante ao longo do tempo, mas varia entre as unidades de análise (Gujarati e Porter, 2011).

Segundo Gujarati e Porter (2011), a escolha entre o modelo de efeito fixo e o de efeito aleatório depende da suposição feita sobre a relação entre a variação nos erros e os regressores. Se assumir que não há correlação entre os erros e os regressores, o modelo de efeitos aleatórios pode ser mais apropriado para a análise. No entanto, se houver uma relação entre os erros e os regressores, o modelo de efeitos fixo pode ser mais adequado.

Apesar das vantagens oferecidas pelos dados em painel, é importante considerar algumas desvantagens associadas ao seu uso. Uma dessas desvantagens diz respeito ao potencial viés de heterogeneidade nos dados, o que pode resultar em estimativas enviesadas dos coeficientes do modelo, redução da precisão das estimativas e desafios na interpretação dos resultados. Essa questão torna-se evidente na forma como os dados são coletados, destacando a necessidade de abordagens cuidadosas para mitigar tais efeitos indesejados. Outra fonte frequente de viés em modelos de dados em painel é a seletividade dos dados, que podem não ter sido coletados de maneira aleatória entre as amostras. Dessa forma, é importante estar ciente dos potenciais vieses associados ao uso de dados em painel. Para evitar esses vieses, a coleta de dados e a seleção de unidades de análise deve ser feita de forma cuidadosa, levando em consideração a possibilidade de se encontrar problemas na interpretação dos resultados (Baltagi, 2008; Hsiao, 2003).

4.3 MODELO STIRPAT

O modelo executado nesse trabalho se baseia nas premissas do modelo STIRPAT (*Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence, and Technology*), um tipo de modelo matemático desenvolvido por Dietz e Rosa em 1994 para estimar a relação entre degradação ambiental e três fatores principais: população, renda e tecnologia (Dietz e Rosa, 1994; Shahbaz *et al.*, 2015). Este modelo serve como extensão ao modelo IPAT (*Impact, Population, Affluence and Technology*) criado por Ehrlich e Holden em 1971, que pode ser expresso através da Equação (2):

$$I = P \times A \times T \quad (2)$$

Ele parte do pressuposto de que aumentos na população, renda *per capita* ou na tecnologia sempre resultarão no mesmo impacto ambiental. No entanto, o modelo IPAT revela uma significativa limitação ao ignorar os nuances das variáveis, não levando em consideração as mudanças na tecnologia, no padrão de consumo e na legislação ambiental (Shahbaz *et al.*, 2015; Wu *et al.*, 2014).

Diante dessas limitações, Dietz e Rosa (1994) propuseram uma nova abordagem para o modelo IPAT. Para os autores seria necessário reformular o modelo em seis aspectos. O primeiro seria considerar a abordagem estocástica do que um modelo que apenas contabilizasse as variáveis, possibilitando assim usá-lo para o teste de hipóteses. Em segundo lugar, ajudaria

a robustez do modelo a aplicação de uma variedade de indicadores para impacto ambiental. Em terceiro lugar, a modelagem de efeitos elásticos na distribuição da população, considerando impactos não só totais, mas também demográficos da população. Em quarto lugar, a variável de afluência deveria considerar não aspectos absolutos da renda, mas aspectos de distribuição. Em quinto, a tecnologia deveria ser considerada parte direta do modelo, e não um aspecto residual na contabilização. Em sexto e último lugar, seria necessário sair de um modelo de equação simples para um sistema que modelasse tanto o impacto direto, quanto indireto das variáveis de impacto do modelo.

Desse modo, o modelo STIRPAT é apresentado como uma alternativa aprimorada. A Equação (3) descreve o modelo:

$$I = aP_i^b A_i^c T_i^d e_i \quad (3)$$

A variável I representa o impacto ambiental, P a população, A representa renda e T a variável de tecnologia. A constante ' a ' é responsável por escalar o modelo, enquanto os parâmetros ' b ', ' c ' e ' d ' são denominados coeficientes de elasticidade. Eles expressam a magnitude da resposta do impacto ambiental a um aumento de 1% em cada um dos fatores, podendo ser positivos ou negativos. Um coeficiente positivo implica em um aumento no impacto ambiental, ao passo que um coeficiente negativo indica uma redução no impacto ambiental (Vélez-Henao, Vivanco e Hernández-Riveros, 2019).

É importante, no entanto, ressaltar que os resultados do modelo podem variar dependendo das amostras analisadas e das ferramentas de estimação empregadas. Além disso, o modelo pode não ser capaz de explicar todos os fatores que influenciam a degradação ambiental. Apesar dessas limitações, o modelo tem se apresentado como uma ferramenta muito útil para estimar a relação entre a degradação ambiental e fatores socioeconômicos, auxiliando os tomadores de decisão na criação de políticas públicas que busquem reduzir o impacto ambiental.

4.4 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

Os principais resultados estimados para o modelo proposto podem ser encontrados na Tabela 1. A coluna (1) apresenta o modelo proposto sem variações em suas variáveis de controle, enquanto as colunas (2), (3) e (4) trazem a adição de novas variáveis. Na coluna (2) foi acrescentada ao modelo uma variável de abertura comercial (ln_open) e retirada a variável de pesquisa e desenvolvimento (ln_pd). Na coluna (3) foi acrescentada uma variável de formação bruta de capital (ln_fbc) que trabalhará como *proxy* de tecnologia junto a variável de pesquisa e desenvolvimento e intensidade de energia. Na coluna (4) foram acrescentadas ambas as variáveis de forma simultânea no modelo para analisar seus efeitos.

Tabela 1 - Síntese dos principais resultados

Variáveis	(1) ln_co2pc	(2) ln_co2pc	(3) ln_co2pc	(4) ln_co2pc
ln_eci	0.0910** (-0.0237)	0.127** (-0.0377)	0.0810** (-0.0254)	0.0782*** (-0.0123)
pibpc	0.000164*** (-0.000023)	8.79e-05** (-0.0000198)	0.000170*** (-0.0000268)	0.000154*** (-0.0000252)
pibpc2	-3.04E-09*** (-5.655E-10)	-1.29E-09* (-5.335E-10)	-3.20E-09*** (-6.75E-10)	-2.82E-09** (-6.89E-10)
ln_pop	0.809*** (-0.16)	1.442** (-0.486)	1.198** (-0.289)	1.591* (-0.616)
ln_enrgint	1.154*** (-0.161)	1.105*** (-0.136)	1.220*** (-0.179)	1.362** (-0.296)
Ln_pd	-0.417** (-0.116)		-0.441** (-0.127)	-0.387* (-0.156)
ln_open		-0.228** (-0.0548)		-0.181 (-0.129)
ln_fbc			0.176* (-0.0657)	0.256* (-0.105)
Constante	-17.84*** (-3.278)	-28.62** (-9.505)	-26.18** (-5.966)	-33.58* (-12.4)
Observações	60	60	60	60
R-Quadrado	0.822	0.759	0.832	0.852
Prob > F	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Número de países	5	5	5	5

Nota: os dados foram submetidos ao teste de Hausman que sugeriu a análise por meio de efeitos fixos, que já foram rodados em erros robustos (erros-padrão robustos entre parênteses). Significância estatística: *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1.

Fonte: elaboração própria.

Os dados a respeito do ECI foram estatisticamente significativos para todas as estimativas realizadas, e influenciaram positivamente as emissões de CO₂. Esse resultado vai

ao encontro da literatura, pois aumentos na complexidade econômica do país costumam sinalizar melhoras na diversificação e mudanças na estrutura produtiva do país e é esperado que, com esse processo, aconteça um aumento na demanda por recursos naturais, elevando a quantidade de poluentes emitidos.

Os dados para PIB *per capita* e seu termo ao quadrado foram estatisticamente significantes para todas as observações realizadas. Sem o termo ao quadrado, o PIB *per capita* influencia positivamente a emissão de CO₂. Esse resultado é condizente com o esperado uma vez que aumentos na renda de uma população costumam acontecer por aumentos na produtividade da economia, o que pode resultar maiores emissões de CO₂. O termo ao quadrado, por sua vez, tem sinal negativo indo ao encontro dos pressupostos da EKC da existência de uma curva do tipo U invertido entre a variável de degradação ambiental e a renda.

A variável população foi estatisticamente significativa nas quatro regressões e apresentou sinal positivo, indicando uma relação positiva com a emissão de CO₂. O resultado encontrado é o esperado uma vez que maiores populações demandam mais dos ambientes que estão inseridos, o que tende a gerar uma maior emissão de poluentes na atmosfera.

A variável de intensidade energética foi estatisticamente significativa nas quatro regressões e apresentou sinal positivo, indicando uma relação positiva com a emissão de CO₂. Esse resultado é consistente com a ideia de que o aumento no consumo de energia está associado a uma maior utilização de combustíveis fósseis e, portanto, a uma maior emissão de dióxido de carbono.

A variável de pesquisa e desenvolvimento foi utilizada nos modelos (1), (3) e (4), sendo significativa em todos os três. Ela apresentou sinal negativo, indicando uma relação decrescente com o CO₂. Essa relação é consistente com a expectativa de que investimentos em P&D podem resultar em inovações tecnológicas e práticas mais sustentáveis, levando a processos de produção mais eficientes e a uma menor quantidade de poluentes emitidos.

A variável de abertura comercial (open) foi utilizada nos modelos (2) e (4), sendo significativa apenas no modelo (2). Seu sinal é negativo, representando uma relação negativa com a emissão de CO₂, o que condiz com a expectativa de que países mais abertos para o comércio internacional podem importar não apenas maquinários mais eficientes, mas também práticas de produção mais sustentáveis e menos poluidoras. Ela foi mantida no modelo (4) uma vez que contribuiu para investigar o modelo como um todo. Neste caso, sua falta de significância estatística pode ser resultado de uma importância maior dessa variável para algum país específico dos BRICS mesmo que, para o grupo, não tenha força para ser estatisticamente significativa. De qualquer modo, sua presença no modelo (4) ajuda perceber que os resultados

permanecem com os mesmos sinais esperados das demais variáveis mesmo quando ela é inserida.

A variável de formação bruta de capital fixo foi utilizada nos modelos (3) e (4), sendo significativa em ambos. Ela possui sinal positivo, impactando positivamente a emissão de CO₂. Esse resultado sugere que investimentos significativos em infraestrutura e desenvolvimento econômico podem contribuir para um aumento nas emissões como reflexo das atividades de construção e produção intensiva associada a esses investimentos.

Os modelos da Tabela 1 contam com a variável de PIB *per capita* ao quadrado visando testar a validade da hipótese das EKC como em trabalhos anteriores. Contudo, foram estimadas também versões mais simples do modelo STIRPAT, contando com apenas uma variável para cada aspecto do modelo. Os resultados podem ser conferidos na Tabela 2.

Tabela 2 - Síntese de resultados em modelos alternativos

Variáveis	(5) ln_co2pc	(6) ln_co2pc	(7) ln_co2pc
ln_eci	0.0675* -0.0245		0.178*** -0.0385
ln_pibpc	0.907*** -0.156		
ln_pop	0.430* -0.172	1.262** -0.423	1.286** -0.289
ln_enrgint	1.038*** -0.2	0.958** -0.328	0.723** -0.218
ln_pd	-0.171 -0.0966	-0.296 -0.196	-0.232 -0.176
eci		0.492** -0.154	
pibpc		5.25e-05** -1.34E-05	4.70e-05** -1.63E-05
Constant	-17.22*** -2.561	-25.84** -8.783	-25.41** -5.63
Observações	60	60	60
R-Quadrado	0.856	0.714	0.728
Número de países	5	5	5

Nota: os dados foram submetidos ao teste de Hausman que sugeriu a análise por meio de efeitos fixos, que já foram rodados em erros robustos (erros-padrão robustos entre parênteses). Significância estatística: *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1.

Fonte: elaboração própria.

Os sinais das regressões (5), (6) e (7) vão de acordo com os sinais esperados para o modelo, com ln_eci, ln_pibpc, ln_pop, ln_enrgint, eci e pibpc apresentando valores positivos.

Porém, a variável de pesquisa e desenvolvimento – significativa em todos os modelos em que foi analisada na tabela 1 – apresentou falta de significância estatística para todas as três regressões, mesmo apresentando o sinal esperado. A constância dos sinais, mesmo que a variável de pesquisa e desenvolvimento tenha se apresentado estatisticamente não significativa, sugere que o modelo estimado consegue sustentar as hipóteses colocadas pela literatura teórica e empírica.

4.5 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS À LUZ DA LITERATURA

Os resultados encontrados – e dispostos nas Tabelas 1 e 2 – sugerem uma relação positiva entre o índice de complexidade econômica e as emissões de CO₂ *per capita* no grupo. Dessa forma, o aumento no índice de complexidade econômica está associado a um aumento nas emissões de CO₂ *per capita*, indicado pelos coeficientes positivos entre 0.0675 e 0.178. O nível de significância estatística do ECI para as sete regressões analisadas também foi satisfatório, ficando abaixo de 0,1 em todos os modelos, chegando a valores inferiores a 0,01 nas regressões (4) e (7). Esse padrão era esperado e se manifestou em todos os estudos examinados na revisão de literatura, exceto no estudo de Zheng *et al.* (2021).

A variável de PIB *per capita* foi analisada de duas maneiras diferentes: buscando encontrar uma relação não-linear e testar a hipótese da curva ambiental de Kuznets, a variável foi estimada sem ser linearizada nas regressões de (1) a (4); nas regressões (6) e (7) ela foi estimada sem linearização, porém não com a intenção de provar a hipótese da EKC. Ela foi linearizada apenas na regressão (5), em um modelo com linearização em todas as variáveis. A variável foi significativa em todas as regressões realizadas, apresentando um impacto negativo na emissão de CO₂.

Nos modelos da Tabela 1, aonde foram adicionadas as regressões o quadrado do PIB *per capita*, é possível perceber que o modelo sugere uma relação não linear, indicando que o impacto do PIB *per capita* nas emissões de CO₂ diminui à medida que ele aumenta, como indicado pelos coeficientes negativos entre -3.04E-09 e -2.82E-09. Esse resultado pode ser explicado pela hipótese da EKC e a ideia da curva de “U-invertido” na relação entre aumentos na renda e degradação ambiental (Grossman e Krueger, 1991). Os resultados são semelhantes aos encontrados na literatura analisada, com exceção do modelo de Romero e Gramkow (2021), que foi o único a não validar a hipótese da EKC. É importante, porém, dizer que no modelo de Romero e Gramkow (1991) a relação não linear foi observada, mas não foi considerada, pelo nível de significância da variável PIB *per capita* ao quadrado.

A teoria proposta por Dietz e Rosa (1994), ao criarem o modelo STIRPAT, identificava a população como uma das forças motrizes no aumento da degradação ambiental. Os resultados encontrados vão de acordo com essa hipótese, com os valores da variável população sendo significativos e positivos para todos os sete modelos. Foi no modelo (1) que a variável encontrou o maior nível de significância estatística, com valores inferiores a 0,01. Os sinais encontrados nas regressões vão de encontro com os trabalhos de Romero e Gramkow (2021), Aluko, Opoku e Acheampong (2022) e Agozie et. al (2022), que utilizaram a população como variável explicativa.

Além das variáveis de renda e população, o modelo STIRPAT conta com uma terceira variável, um *proxy* para tecnologia. Foram testadas quatro diferentes variáveis com essa finalidade: pesquisa e desenvolvimento ($\ln_pd$), intensidade energética ($\ln_enrgint$), abertura comercial ($\ln_open$) e formação bruta de capital fixo ($\ln_fbc$). A variável de pesquisa e desenvolvimento foi testada em todos os modelos com exceção do (2), sendo significativa para os modelos (1), (3) e (4) e insignificativa nos modelos (5), (6) e (7). Em toda a literatura analisada na revisão empírica desse trabalho, a variável de pesquisa e desenvolvimento não foi utilizada em nenhum dos modelos. A ideia de utiliza-la como *proxy* de tecnologia se deu pela noção de que investimento em pesquisa poderia contribuir com adoção de tecnologias mais eficientes. Quando aliada a outras variáveis de tecnologia, como nos modelos (1), (3) e (4), o comportamento da variável seguiu como esperado, apresentando uma relação negativa com a emissão de CO₂ como pode ser confirmado pelo valor negativo de seus coeficientes. Sobre sua significância estatística, ela apresentou valores abaixo de 0,05 para todas as regressões em que foi significativa, demonstrando bom ajustamento a esses modelos.

Variáveis voltadas para o uso e consumo de energia foram utilizadas nos trabalhos de Can, Doğan e Saboori (2019), Zheng *et al.* (2021) e Agozie et. al (2022), porém, a abordagem de intensidade energética não foi usada em nenhum dos modelos. A ideia de optar pela intensidade energética ao invés do uso de energia renovável ou o uso de energia por si só, é desviar de uma utilização doméstica da energia, partindo para um indicador que mede o impacto produtivo da energia elétrica. Esse *proxy* foi utilizado para todas as sete regressões, apresentando uma relação positiva e estatisticamente significativa com o CO₂, com valores abaixo de 0,05. Esse resultado era esperado uma vez que aumentos na intensidade do uso de energia resultaria em um aumento nas emissões.

A variável de abertura comercial foi utilizada tanto por Can, Doğan e Saboori (2019) quanto por Romero e Gramkow (2021). Ela mede o grau de abertura comercial do país somando a participação das exportações e importação no PIB. Ela foi testada nas regressões (2) e (4),

sendo significativa estatisticamente, a 0,05, apenas na primeira, porém com o sinal iguais em ambas as regressões. Os resultados encontrados na literatura quanto ao sinal esperado dependem de uma análise mais ampla. Enquanto o trabalho de Romero e Gramkow (2021) encontraram uma relação negativa entre a variável e a emissão de CO₂, Can, Doğan e Saboori (2019) encontraram sinais diferentes entre as faixas de renda mais altas e mais baixas. Os autores sugerem que essa reação precisa ser analisada a luz de o que está sendo importado e o que está sendo exportado, para analisar em qual estágio se encontra o intercâmbio de tecnologia.

A variável de formação bruta de capital fixo foi utilizada no trabalho de Chu (2020) como ferramenta para analisar o impacto dos efeitos da industrialização nas emissões. Ela foi utilizada nas regressões (3) e (4), sendo significativa a um valor de 0,1 em ambos os modelos. A relação observada com a emissão de CO₂ foi positiva, conforme esperado.

Em uma visão mais generalizada, o modelo STIRPAT sugeriu boa confiabilidade para os quatro modelos analisados na Tabela 1. A respeito da análise do impacto do ECI para esse modelo, o resultado pode ser considerado positivo, uma vez que foi considerado significativo a uma taxa mínima de 0.05 chegando até a 0.01 no modelo (4).

Os modelos da Tabela 2 trouxeram resultados um pouco aquém do esperado. Apesar do objetivo geral dos modelos serem alcançados – uma relação significativa entre ECI e emissões de CO₂ – o modelo tem problemas em sua abordagem da variável de tecnologia, algo não visualizado na literatura analisada até aqui. Ainda, para a variável de pesquisa e desenvolvimento, ambas as regressões a apresentam como estatisticamente não significativas. Além disso, foi possível constatar que abordar a variável do PIB *per capita* sem linearizá-la produz resultados efetivos apenas quando se está estudando a relação não linear com o termo ao quadrado.

Além das Tabelas 1 e 2, dentro do Apêndice B, foram realizadas outras estimativas buscando testar a robustez do modelo e a constância dos sinais dos coeficientes, através da remoção e trocas de variáveis. Foram realizadas algumas transformações na variável independente ECI, testando sua relação com as variáveis de emissão de CO₂ *per capita* sem que passasse pela transformação linear. As regressões estimadas encontraram um nível mais alto de significância para algumas variáveis de tecnologia como as solicitações de patentes por residentes e não residentes e o consumo de energia renovável. Ambas as variáveis foram insignificantes estatisticamente para as regressões aqui realizadas, porém alcançaram níveis aceitáveis nas regressões inclusas no Apêndice B.

Em geral, seus modelos se mostraram voláteis no sentido de perda de significância estatística em duas ou mais variáveis quando novas variáveis eram acrescentadas ou as variáveis

do modelo eram reduzidas. Apesar disso, os coeficientes estatisticamente significativos mantiveram os sinais esperados conforme a literatura, denotando, ao menos para estas variáveis específicas, sua grande relevância para explicar a emissão de gás carbônico.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa teve como propósito analisar a relação entre o Índice de Complexidade Econômica e as mudanças no contexto ambiental nos países do BRICs no período de 2009 a 2020. O foco central da pesquisa recaiu sobre a investigação das pressões ambientais decorrentes do processo de sofisticação das estruturas produtivas. Dentro desse contexto, os resultados encontrados revelaram informações importantes sobre a dinâmica dessa relação.

Com esse objetivo em mente, o trabalho se dividiu em três partes: uma referenciando a literatura existente sobre o assunto, uma contextualizando os países objetos dessa análise e uma metodológica, aonde a hipótese de que existe uma correlação entre o Índice de Complexidade Econômica e o contexto ambiental desses países foi testado.

A seção de revisão da literatura contextualizou a importância de correntes de desenvolvimento que foquem na sofisticação da planta produtiva, para alcançar estágios que possibilitem a produção de produtos com um maior valor agregado. Em especial, essa seção destacou as propostas da corrente cepalina, que surgiu com o objetivo de propor estratégias de desenvolvimento econômico para países economicamente atrasados. Partindo dessa base, foi contextualizado o ECI como medida para visualização da sofisticação da estrutura produtiva desses países, demonstrando a existência de um método que permite quantificar e ranquear os países com base em quão diversificada é sua economia e quão ubíquo são seus produtos. Foi introduzido também o conceito da EKC como uma ferramenta para avaliar progresso ambiental em termos da renda de uma população. A conclusão encontrada para essa análise, no âmbito do ECI, é a de que países mais ricos possuem plantas mais diversificadas, criando uma relação positiva entre a renda da economia e sua complexidade. No âmbito da curva, conclui-se que é importante testa-la para a análise do estágio de desenvolvimento econômico e ambiental que se encontra o país.

No que se refere à análise econométrica do modelo, em resumo, os resultados encontrados indicam uma relação consistentemente positiva entre o Índice de Complexidade Econômica e as emissões de CO₂ nos países analisados. Esse padrão seguiu de acordo com a conclusão da maioria dos estudos analisados na revisão de literatura. A variável de renda per capita também apresentou uma relação positiva com as emissões tanto em seu termo linearizado quanto nos termos não linearizados. Os modelos que incluíram a variável ao quadrado sugeriram a existência de uma relação não linear entre PIB per capita e as emissões, apontando

para a confirmação da EKC e sugerindo que por se tratar de países em desenvolvimento, se encontram na primeira parte da curva.

A inclusão da população como uma das forças motrizes na degradação ambiental, conforme proposto pela teoria do modelo STIRPAT, foi validada nos resultados, mostrando uma relação positiva e significativa em todos os modelos. A respeito das variáveis relacionadas à tecnologia, a intensidade energética apresentou uma relação positiva com as emissões de CO₂, enquanto a variável de pesquisa e desenvolvimento apresentou uma relação negativa. A variável de abertura comercial apresentou-se negativa, porém é importante analisá-la à luz da teoria, uma vez que pode apresentar resultados mistos na literatura. A formação bruta de capital fixo também se mostrou influenciando positivamente nas emissões de CO₂.

Os resultados encontrados nessa monografia indicaram uma forte conexão entre crescimento econômico e emissões de CO₂. Dessa forma, frente ao atual cenário de mudanças climáticas e as alterações no padrão de consumo com o aumento da demanda de produtos sustentáveis, tratar questões relacionadas ao desenvolvimento sustentável deveria se tornar a prioridade durante a formulação de novas políticas econômicas. Algumas recomendações que podem ser feitas envolvem a promoção de políticas mais sustentáveis como a expansão do uso de fontes de energia renováveis, endurecimento das legislações ambientais e investimento em pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias que, ao mesmo tempo, elevem o grau de complexidade da estrutura produtiva do país e diminuam os resíduos poluentes gerados com a produção.

Baseado nos resultados encontrados pela pesquisa algumas recomendações que podem ser feitas envolvem a promoção de políticas mais sustentáveis como a expansão do uso de fontes de energia renováveis, endurecimento das legislações ambientais e investimento em pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias que, ao mesmo tempo, elevem o grau de complexidade da estrutura produtiva do país e diminuam os resíduos poluentes gerados com a produção.

REFERÊNCIAS

- AFRICANEWS. BRICS expansion: five countries join ranks. **Africanews**. 02 jan. 2024. Disponível em: <https://www.africanews.com/2024/01/02/brics-expansion-five-countries-join-ranks/>. Acesso em: 31 jan. 2024
- AGOZIE, D. Q.; GYAMFI, B. A.; BEKUN, F. V.; OZTURK, I.; TAHA, A. Environmental Kuznets Curve hypothesis from lens of economic complexity index for BRICS: Evidence from second generation panel analysis. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 53, p. 102597, out. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102597>. Acesso em 16 jul. 2023.
- ALENCAR, J. F. L., FREITAS, E., ROMERO, J. P., & BRITTO, G. Complexidade econômica e desenvolvimento: Uma análise do caso latino-americano. **Novos estudos CEBRAP**, v. 37, n. 2, p. 247–271, maio 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/nec/a/S5h9GrzPGHrrj6FN7qbJ9xy/abstract/?format=html&lang=pt>. Acesso em 08 ago. 2023.
- ALUKO, O. A.; OPOKU, E. E. O.; ACHEAMPONG, A. O. Economic complexity and environmental degradation: Evidence from OECD countries. **Business Strategy and the Environment**, 3 out. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/bse.3269>. Acesso em 28 de set. 2023.
- ARTHUR, Brian. **Complexity and the economy**. New York, Ny: Oxford University Press, 2015.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL, **Relatório de Investimento Direto 2022**. Brasília: 2022 Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/publicacoes/relatorioid>. Acesso em 17 dez. 2023
- BALTAGI, B. H. Introduction; The One-way Error Component Regression Model **Econometric Analysis of Panel Data**. 3. Ed. Chippenham, Wiltshire. John Wiley & Sons, 2005. p. 1-29
- BBC. Brics: What is the group and which countries are joining? **BBC**. 29 dez. 2023. Disponível em: <https://www.bbc.com/news/world-66525474>. Acesso em 31 jan. 2024
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Indicadores Ambientais**. [Brasília]: MMA, [2017?]. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/informacoes-ambientais/indicadores-ambientais.html#portal-siteactions>. Acesso em 12 out. 2023
- BRESSER-PEREIRA, L. C. O conceito histórico de desenvolvimento econômico. **Textos para Discussão da Escola de Economia de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas**, dez. 2006. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10438/1973>. Acesso em 28 de set. 2023.
- BRIC. **II BRIC Summit of Heads of State/Government Joint Statement**. 15 abril 2010. Brasília. Disponível em: http://brics2022.mfa.gov.cn/eng/gyjzgj/ljldrhwcgwj/202202/t20220222_10644316.html. Acesso em 31 jan. 2024.

- CHANDRASEKHAR, C. P. From Dirigisme to Neoliberalism: Aspects of the Political Economy of the Transition in India. **Development And Society**. v. 39, n. 1, jun. 2010. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=57b79100d40ac6ae14d93c1dc420ca772d7abb2f>. Acesso em 18 dez. 2023
- CHENG, H. F.; GUTIERREZ, M.; MAHAJAN, A.; SHACHMUROVE, Y.; SHAHROKHI, M. A Future Global Economy to Be Built by the BRICS. **Global Finance Journal**, n. 18, p. 143-156, 2005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1044028307000208>. Acesso em 05 mar. 2024
- CHENERY, H. Introduction. Part 2: Structural Transformation. In: CHENERY, H.; SRINIVASAN, T. N. (Ed.). **Handbook of Development Economics**. V. 1. Amsterdã: Elsevier, 1988, p. 197-202.
- CHU, L. K. Economic structure and environmental Kuznets curve hypothesis: new evidence from economic complexity. **Applied Economics Letters**, p. 1–5, 15 maio 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/13504851.2020.1767280>. Acesso em 28 set. 2023.
- CLIMATE WATCH. 2022, Historical GEE Emissions. Washington, DC: **World Resources Institute**. Disponível em: <https://www.climatewatchdata.org/GEE-emissions>. Acesso em 29 set. 2023
- CORSI, F. L.; SANTOS, A. dos S.; CAMARGO, J. M. C. M. A América Latina: ciclo de commodities e crise do capitalismo global. **AUSTRAL: Brazilian Journal of Strategy & International Relations**, v. 8, n. 15, 2019. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/austral/article/view/89388>. Acesso em 17 dez. 2023
- CONNOLLY, R. **The Russian Economy: A Very Short Introduction**. 1. ed. Oxford: Oxford University Press, 2020.
- DINDA, S. Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey. **Ecological Economics**, v. 49, n. 4, p. 431–455, 1 ago. 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.02.011>. Acesso em 14 dez 2023
- DOĞAN, B.; SABOORI, B.; CAN, M. Does economic complexity matter for environmental degradation? An empirical analysis for different stages of development. **Environmental Science and Pollution Research**, 5 set. 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-019-06333-1>. Acesso em 28 set. 2023.
- FREUND, B.; PADAYACHEE, V. The Economic History of South Africa 1948-94. In: OQUBAY A.; TREGENNA F; VALODIA. I. **The Oxford Handbook of South African Economy**. 1. ed. Oxford: Oxford University Press, 2021. p. 6-90
- FUNDO MONETÁRIO INTERNACIONAL (IMF). **World Economic Outlook: Navigating Global Divergences**. Washington, DC, out. 2023. Disponível em: <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2023/10/10/world-economic-outlook-october-2023>. Acesso em 17 dez. 2023

FURTADO, C. Desenvolvimento e subdesenvolvimento. In: BIELSCHOWSKY, Ricardo (Org.). **Cinquenta anos de pensamento na Cepal**. Rio de Janeiro: Record, 2000. p. 239–262.

GALA, P.; ROCHA, I.; MAGACHO, G. The structuralist revenge: economic complexity as an important dimension to evaluate growth and development. **Brazilian Journal of Political Economy**, v. 38, n. 2, p. 219–236, jun. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0101-31572018v38n02a01>. Acesso em 29 set. 2023.

GOMES, R. G. A. Da lei e da terra: a consolidação da resistência nativa na União Sul-Africana a partir do Natives Land Act de 1913. **Locus: Revista de História**, [S. l.], v. 18, n. 2, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufjf.br/index.php/locus/article/view/20612>. Acesso em: 20 dez. 2023.

GUJARATI, D.; PORTER, D. Modelos de regressão com dados em painel. **Econometria Básica**. 5ª ed. São Paulo, SP. AMGH Editora, 2008. p. 587-610.

KARL, R. E. **Mao Zedong and China in the twentieth-century world**. 1 ed. Durham: Duke University Press, 2010

KAZA, S.; YAO, L. C.; BHADA-TATA, P.; VAN WOERD, F. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. **World Bank Group**. 2018. Disponível em: <https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/>. Acesso em 06 out. 2023.

KUZNETS, S. Economic growth and income inequality. Em: **The gap between rich and poor** (pp. 25-37), 2019. Routledge. Disponível em: https://cooperative-individualism.org/kuznets-simon_economic-growth-and-income-inequality-1955-may.pdf. Acesso em: 14 dez 2023

HAMMOND, A.; ADRIAANSE, A.; RODENBURG, E.; BRYANT, D.; WOODWARD, R. **Environmental Indicators: A systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development**. Washington, D.C.: World Resources Institute, 1995.

TAIMOOR, H.; YASIR K.; CHAOLIN H.; JIAN C.; NAIF, A.; HUAMING, S.; NAVEED, K.; Environmental regulations, political risk and consumption-based carbon emissions: Evidence from OECD economies. **Journal of Environmental Management**, v. 320, p. 115893, 15 out. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115893> Acesso em: 29 set. 2023

HAUSMANN, R.; HIDALGO, C. A.; BUSTOS, S.; COSCIA, M.; SIMOES, A.; YILDIRIM, M. A. What Do We Mean by Economic Complexity? **The Atlas of economic complexity: mapping paths to prosperity**. Cambridge, MA: The MIT Press, 2011. p. 14-19

HAUSMANN, R. Structural Transformation and Economic Growth in Latin America. **The Oxford Handbook of Latin American Economics**. Oxford University Press, 2011. p.519–545.

HERCULANO, S.C. A qualidade de vida e seus indicadores. **Qualidade de Vida e Riscos Ambientais**. Niterói: Eduff, 2010.

HIDALGO, C.; HAUSMANN, R. The building blocks of economic complexity. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, n. 26, p. 10570–10575, 22 jun. 2009. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.0900943106>. Acesso em: 15 ago. 2023

HUETTNER, M.; LEEMANS, R.; KOK, K.; EBELING, J.. A comparison of baseline methodologies for “Reducing Emissions from Deforestation and Degradation”. **Carbon Balance and Management**, v. 4, n. 1, 13 jul. 2009. Disponível em: <https://cbmjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/1750-0680-4-4>. Acesso em 09 out 2023

LAZARO, L. L. B. Narrativas da escassez hídrica no Brasil face às ameaças da mudança climática. **Jornal da USP**. 17 jun. 2023. Disponível em: <https://jornal.usp.br/artigos/narrativas-da-escassez-hidrica-no-brasil-face-as-ameacas-da-mudanca-climatica/>. Acesso em 26 jan. 2024

MAZUMDAR, S. Industrialization, Dirigisme and Capitalists: Indian Big Business from Independence to Liberalization. **NMML Occasional Paper History And Society**. v. NA, n. 7. 2012. Disponível em: <https://mpira.ub.uni-muenchen.de/93158/>. Acesso em: 18 dez. 2023

MEALY, P.; TEYTELBOYM, A. Economic complexity and the green economy. **Research Policy**, p. 103948, abr. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2020.103948>. Acesso em: 25 de jul. 2023.

NEAGU, O.; TEODORU, M. The Relationship between Economic Complexity, Energy Consumption Structure and Greenhouse Gas Emission: Heterogeneous Panel Evidence from the EU Countries. **Sustainability**, v. 11, n. 2, p. 497, 18 jan. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su11020497>. Acesso em: 16 de jul. 2023.

O’NEILL, J. Building Better Global Economic BRICs. **Global Economics Paper**, v. 66. 30 nov. 2001. Disponível em: <https://www.almendron.com/tribuna/wp-content/uploads/2013/04/build-better-brics.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2023

O’NEILL, J.; WILSON, D.; PURUSHOTHAMAN, R.; STUPNYTSKA, A. How Solid are the BRICs? **Global Economics Paper**, v. 134. 1 dez. 2005. Disponível em: http://www.sdnbd.org/sdi/issues/economy/BRICs_3_12-1-05.pdf. Acesso em: 26 nov. 2023

O’NEILL, J. **The growth map: economic opportunity in the BRICs and beyond**. 1. ed. New York: Portfolio Penguin, 2011.

PLUMMER, R; Argentina pulls out of plans to join Brics bloc. **BBC News**. 29 dez. 2023. Disponível em: <https://www.bbc.com/news/world-latin-america-67842992>. Acesso em: 31 jan. 2024

REUTERS. China's Xi calls for accelerated BRICS expansion. **Reuters**. 23 ago. 2023. Disponível em: <https://www.reuters.com/world/chinas-xi-calls-accelerated-brics-expansion-2023-08-23/>. Acesso em: 01 jan. 2023

RIBEIRO, E. J. J.; MORAES, R. F. DE .. De BRIC a BRICS: como a África do Sul ingressou em um Clube de Gigantes. **Contexto Internacional**, v. 37, n. 1, p. 255–287, jan. 2015.

Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/cint/a/FdC8BWPWfwwbzq5Zc7LqBQd/#ModalHowcite>. Acesso em: 11 jan. 2024

RITCHIE, H.; ROSER, M.; ROSADO, P. **CO₂ and Greenhouse Gas Emissions**, 2020.

Disponível em: <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>. Acesso em: 29 set. 2023

RITCHIE, H.; ROSER, M.; ROSADO, P. **Energy**, 2020. Disponível em:

<https://ourworldindata.org/energy>. Acesso em: 29 set. 2023

ROMERO, J. P.; GRAMKOW, C. Economic complexity and greenhouse gas emissions.

World Development, v. 139, p. 105317, 1 mar. 2021. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105317>. Acesso em: 29 set. 2023.

SCHUMPETER, J. A. **Capitalismo, socialismo e democracia**. [s.l.] Rio De Janeiro: Zahar Editores, 1984.

SCHIRMER, S. The Economic History of South Africa before 1948. In: OQUBAY A.;

TREGENNA F; VALODIA. I. **The Oxford Handbook of South African Economy**. 1. ed. Oxford: Oxford University Press, 2021. p. 26-45

SHAHBAZ, M. A.; LOGANATHAN, N.; MUZAFFAR, A. T.; AHMED, K.; JABRAN, M.

A. How urbanization affects CO₂ emissions in Malaysia? The application of STIRPAT model. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 57, p. 83-93, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.096>. Acesso em 21 jan. 2024.

SMITH, A. **A riqueza das nações: investigação sobre sua natureza e suas causas**. 3ª edição. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2017.

STUENKEL, O. **BRICS e o futuro da ordem global**. Tradução: Adriano Scandolara. 1ª. ed. São Paulo: Editora Paz e Terra, 2017.

SWART, J.; BRINKMANN, L. Economic Complexity and the Environment: Evidence from Brazil. **World Sustainability Series**, p. 3–45, 26 set. 2019. Disponível em:

<https://doi.org/10.1504/IJKMS.2021.112222>. Acesso em: 25 jul. 2023

TREGENNA, F. Challenges and Complexity of South African Economy. In: OQUBAY A.;

TREGENNA F; VALODIA. I. **The Oxford Handbook of South African Economy**. 1. ed. Oxford: Oxford University Press, 2021. p. 3-25

UNEP. **Você sabe como os gases de efeito estufa aquecem o planeta?** 05 jan. [Nairobi:

UNEP, 2022]. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/voce-sabe-como-os-gases-de-efeito-estufa-aquecem-o-planeta>. Acesso em 01 out. 2023

UNEP, 2015. Global Waste Management Outlook, **United Nations Environment**

Programme, Nairobi. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/report/global-waste-management-outlook>. Acesso em 06 out. 2023

WILSON, D.; PURUSHOTHAMAN, R. **Dreaming With BRICs: The Path to 2050**. Nova Iorque: Global Economics Papers, 2003. Disponível em: <https://avikdgreat.tripod.com/InterestingReads/BRIC_GoldmanSachs.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2023

WORLD BANK. **Employment by sector (%)**, 2021. Disponível em: <https://genderdata.worldbank.org/indicators/sl-empl-zs/?employment=Services&gender=total>. Acesso em: 19 dez. 2023.

WORLD BANK. **Foreign direct investment, net inflows (BoP, current US\$)**, 2022. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicator/BX.KLT.DINV.CD.WD>. Acesso em: 19 dez. 2023.

WORLD BANK. **GDP (current US\$)**. Disponível em: https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD?locations=CN&most_recent_value_desc=true. Acesso em: 19 dez. 2023

WORLD BANK. **GDP per capita growth (annual %)**. Disponível em: https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.KD.ZG?most_recent_value_desc=true. Acesso em: 19 dez. 2023

WORLD BANK. **GDP per capita (current US\$)**. Disponível em: https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD?most_recent_value_desc=true. Acesso em: 19 dez. 2023

WORLD BANK. **World Development Indicators: Population, total**, 2022 Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL>. Acesso em: 26 nov. 2023.

WORLD RESOURCES INSTITUTE. **Climate Watch Historical GHG Emissions**. 2022. Disponível em: <https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions>. Acesso em: 12 out. 2023.

WU, R. A.; WANG, J.; WANG, S.; FENG, K. The drivers of declining CO2 emissions trends in developed nations using an extended STIRPAT model: A historical and prospective analysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 149, p. 111328, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111328>. Acesso em: 21 jan. 2024

WWF BRASIL. **Pegada Ecológica? O que é isso?** [Brasília] WWF Brasil, [2012?] Disponível em: <https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/especiais/pegada_ecologica/o_que_e_pegada_ecologica/>. Acesso em: 01 out. 2023

ZHURAVSKAYA, E.; GURIEV, S.; MARKEVICH, A. New Russian Economic History. **Journal of Economic Literature**, 2023. Disponível em: https://sciencespo.hal.science/hal-03874282/file/2022_zhuravskaya_guriev_markevich_new_russian_economic_history.pdf. Acesso em: 17 dez. 2023

ZHENG, F.; ZHOU, X.; RAHAT, B.; RUBBANIY, G. Carbon neutrality target for leading exporting countries: On the role of economic complexity index and renewable energy

electricity. **Journal of Environmental Management**, v. 299, p. 113558, dez. 2021.
Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113558>. Acesso em 17 jul. 2023.

APÊNDICE A

Variavel		Media	Std. Dev.	Min	Max	Observações	
ln_co2pc	overall	1.568096	0.771078	0.2761154	2.471906	N =	60
	between		0.850095	0.4798347	2.436779	n =	5
	within		0.081445	1.364376	1.726952	T =	12
eci	overall	0.5338889	0.22277	0.0752518	1.013719	N =	60
	between		0.211671	0.2779762	0.822164	n =	5
	within		0.114783	0.2912292	0.7278249	T =	12
pibpc	overall	14359.48	6747.43	3937.24	27254.57	N =	60
	between		7318.645	5288.901	25633.22	n =	5
	within		1396.956	10127.04	18354.3	T =	12
pibpc2	overall	2.51E+08	2.19E+08	1.55E+07	7.43E+08	N =	60
	between		2.39E+08	2.88E+07	6.58E+08	n =	5
	within		4.06E+07	1.19E+08	3.58E+08	T =	12
ln_pibpc	overall	9.446884	0.533757	8.278235	10.21298	N =	60
	between		0.573983	8.55897	10.1506	n =	5
	within		0.12986	9.049433	9.752317	T =	12
ln_enr~t	overall	1.806906	0.298167	1.319086	2.191653	N =	60
	between		0.317422	1.365508	2.090539	n =	5
	within		0.083257	1.640207	1.996267	T =	12
ln_tech	overall	10.81529	1.611941	8.761394	14.24859	N =	60
	between		1.765045	8.869085	13.6868	n =	5
	within		0.252595	9.787562	11.37708	T =	12
ln_pd	overall	0.0446384	0.402602	-0.5048435	0.8782399	N =	60
	between		0.437971	-0.3746546	0.6942102	n =	5
	within		0.077668	-0.1398668	0.2286682	T =	12
ln_rnew	overall	2.649671	0.95886	1.156881	3.913023	N =	60
	between		1.060518	1.20886	3.819006	n =	5
	within		0.06636	2.539055	2.806021	T =	12
open	overall	43.57534	10.72707	22.10598	59.49957	N =	60
	between		10.80361	25.85615	54.48179	n =	5
	within		4.484768	34.3705	53.16047	T =	12
ln_ind	overall	3.332209	0.253952	2.900789	3.840082	N =	60
	between		0.271936	3.012588	3.742933	n =	5
	within		0.0658	3.211258	3.466698	T =	12

ln_fbc	overall	3.19478	0.36198	2.625265	3.795911	N =	60
	between		0.390633	2.842489	3.7646	n =	5
	within		0.082976	2.977556	3.350049	T =	12
ln_urb	overall	4.081535	0.338675	3.420575	4.466747	N =	60
	between		0.372558	3.48498	4.449644	n =	5
	within		0.04218	3.949373	4.198541	T =	12

Fonte: elaboração própria a partir do *software* Stata.

APÊNDICE B

Tabela B.1 - Modelos sem linearização do ECI (Teste da EKC)

	(1)	(2)	(3)
Variáveis	ln_co2pc	ln_co2pc	ln_co2pc
eci	0.182** (0.0557)	0.169* (0.0695)	0.242** (0.0848)
pibpc	0.000170*** (3.05e-05)	0.000115*** (1.83e-05)	0.000195*** (3.66e-05)
pibpc2	-2.99e-09** (6.90e-10)	-1.88e-09** (4.34e-10)	-3.53e-09** (8.45e-10)
ln_pop	0.855** (0.266)	1.021* (0.424)	0.691* (0.302)
ln_enrgint	1.210*** (0.147)	1.265*** (0.112)	1.005*** (0.188)
ln_open	-0.267*** (0.0286)	-0.337*** (0.0582)	
ln_rnew	-0.459** (0.164)	-0.466** (0.141)	-0.383 (0.241)
ln_tech	-0.150* (0.0602)		-0.212* (0.0768)
Constant	-15.29** (4.955)	-19.46* (8.010)	-12.50* (5.433)
Observações	60	60	60
R-Quadrado	0.856	0.830	0.814
Número de países	5	5	5

Nota: os dados foram submetidos ao teste de Hausman que sugeriu a análise por meio de efeitos fixos, que já foram rodados em erros robustos (erros-padrão robustos entre parênteses). Significância estatística: *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1.

Fonte: elaboração própria.

Tabela B.2 - Modelos sem linearização do ECI

	(4)	(5)	(6)	(7)
Variáveis	ln_co2pc	ln_co2pc	ln_co2pc	ln_co2pc
eci	0.131*** (0.0179)	0.193** (0.0462)	0.492** (0.154)	0.177*** (0.0301)
ln_pibpc	0.855*** (0.0847)	0.932*** (0.105)		1.187*** (0.119)
ln_pop	0.460** (0.157)	0.418** (0.104)	1.262** (0.423)	1.198*** (0.126)

ln_enrgint	1.153*** (0.128)	1.136*** (0.203)	0.958** (0.328)	0.900*** (0.123)
ln_open	-0.169*** (0.0228)			-0.0478 (0.0428)
ln_rnew	-0.333* (0.123)			
ln_pd		-0.193 (0.0978)	-0.296 (0.196)	
pibpc			5.25e-05** (1.34e-05)	
ln_urb				-1.814*** (0.253)
Constant	-16.13*** (3.302)	-17.55*** (3.047)	-25.84** (8.783)	-27.21*** (2.585)
Observações	60	60	60	60
R-quadrado	0.898	0.861	0.714	0.910
Número de países	5	5	5	5

Nota: os dados foram submetidos ao teste de Hausman que sugeriu a análise por meio de efeitos fixos, que já foram rodados em erros robustos (erros-padrão robustos entre parênteses). Significância estatística: *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$.

Fonte: elaboração própria.