



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA – SEDE

IAN BERNARD COSTA DE ABREU

Curva Ambiental De Kuznets: uma análise macroeconômica entre crescimento econômico e impacto ambiental no período de 2000 a 2020.

RECIFE
2025

IAN BERNARD COSTA DE ABREU

Curva Ambiental De Kuznets: uma análise macroeconômica entre crescimento econômico e impacto ambiental no período de 2000 a 2020.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal Rural de Pernambuco como requisito exigido à obtenção do Título de Bacharel em Economia, sob orientação da Profª. Dra. Ana Cristina Guimarães Carneiro.

RECIFE

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecário(a): Suely Manzi – CRB-4 809

A162c Abreu, Ian Bernard Costa de.
Curva ambiental de Kuznets: uma análise
macroeconômica entre crescimento econômico e
impacto ambiental no período de 2000 a 2020. / Ian
Bernard Costa de Abreu. – Recife, 2025.
33 f.

Orientador(a): Ana Cristina Guimarães Carneiro.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) –
Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Bacharelado em Ciências Econômicas, Recife, BR-
PE, 2025.

Inclui referências, apêndice(s) e anexo(s).

1. Kuznets, Simon, 1901-1985. 2.
Desenvolvimento econômico. 3. Desenvolvimento
sustentável. 4. Qualidade ambiental 5. Economia
ambiental. I. Carneiro, Ana Cristina Guimarães,
orient. II. Título

CDD 330

IAN BERNARD COSTA DE ABREU

Curva Ambiental De Kuznets: uma análise macroeconômica entre crescimento econômico e impacto ambiental no período de 2000 a 2020.

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Economia
da Universidade Federal de Rural de
Pernambuco, como requisito parcial
para obtenção do título de
Graduação em Economia.

Aprovado em: 14/03/2025

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Ana Cristina Carneiro (Orientadora)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Profa. Dra. Isabel Oliveira (Examinador Interno)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Profa. Dra. Keynis Candido de Souza (Examinador Interno)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

A jornada até aqui foi intensa, desafiadora e, acima de tudo, transformadora. Se cheguei a este momento, não foi sozinho. Primeiramente, agradeço a Deus, que sempre me deu forças nos momentos mais difíceis e me guiou com sabedoria para nunca desistir dos meus sonhos.

A minha família, que foi meu porto seguro, minha base inabalável, meu refúgio nas incertezas. Tudo isso não foi apenas por mim, mas também por vocês. Minha mãe, minha eterna conselheira, que sempre me ouviu com paciência, me aconselhou com amor e acreditou em mim até quando eu duvidei. Seu carinho, suas palavras e sua força me impulsionaram a continuar, mesmo diante dos maiores desafios. À minha avó, que sempre me acolheu com amor e ternura, e aos meus irmãos Iuri e Igor, que foram apoio e inspiração em todos os momentos dessa caminhada. Meu irmão, que esteve ao meu lado nos dias bons e ruins, dividindo comigo o peso das dificuldades e a alegria das conquistas. E à minha amada Katy, minha companheira inseparável, que segurou minha mão, celebrou cada vitória e nunca me deixou fraquejar.

A saudade também faz parte deste momento, e carrego no coração aqueles que, mesmo não estando fisicamente aqui, sempre estiveram comigo. Meu pai, que onde quer que esteja, sei que se orgulha de mim. Meu avô, que sonhou em me ver formado, crescendo profissionalmente e conquistando o meu espaço. Que falta vocês fazem! Mas suas memórias me deram forças para continuar e honrar tudo o que construíram.

A UFRPE foi muito mais do que uma universidade para mim; foi um lugar de aprendizado, crescimento e laços que levo para a vida inteira. Os amigos que fiz aqui são irmãos que escolhi, e sou imensamente grato por cada um que esteve comigo nessa caminhada. Em especial, agradeço ao meu grande amigo e irmão, Marcos Neri, pelas noites de estudo, pelas conversas que me fizeram crescer e pelo companheirismo inabalável. À minha orientadora, Ana Cristina, sou grato por sua paciência, dedicação e pelo apoio constante ao longo desse processo.

Essa conquista não é só minha, é de cada um que caminhou ao meu lado. E com todo o orgulho e gratidão, sei que levo a UFRPE comigo para sempre, junto de todas as pessoas que tornaram essa jornada possível.

RESUMO

O presente estudo investiga a validade da Curva Ambiental de Kuznets (CAK) por meio de uma análise macroeconômica da relação entre crescimento econômico e impacto ambiental em 161 países, no período de 2000 a 2020. Utilizando dados em painel, o modelo de Efeitos Fixos foi adotado para controlar diferenças estruturais entre os países, garantindo estimativas mais robustas. Testes econométricos, como Hausman, Breusch-Pagan e Wooldridge, foram aplicados para validar a escolha do modelo e corrigir possíveis problemas estatísticos. Os resultados indicam que, ao contrário da hipótese tradicional da CAK, a relação entre PIB per capita e emissões de CO₂ é predominantemente positiva no período analisado, sem evidências claras de um ponto de inflexão que represente a redução das emissões nos países mais ricos. Isso sugere que o crescimento econômico, por si só, pode não ser suficiente para mitigar os impactos ambientais, reforçando a necessidade de políticas ambientais ativas. Esses achados contribuem para o debate sobre desenvolvimento sustentável e auxiliam na formulação de estratégias mais eficazes para a redução das emissões globais.

Palavras-chave: Curva Ambiental de Kuznets (CAK), Crescimento econômico e emissões de CO₂, Desenvolvimento sustentável.

ABSTRACT

The present study investigates the validity of the Environmental Kuznets Curve (EKC) through a macroeconomic analysis of the relationship between economic growth and environmental impact across 161 countries from 2000 to 2020. Using panel data, the Fixed Effects model was adopted to control for structural differences between countries, ensuring more robust estimates. Econometric tests, including Hausman, Breusch-Pagan, and Wooldridge, were applied to validate the model choice and correct potential statistical issues. The results indicate that, contrary to the traditional EKC hypothesis, the relationship between GDP per capita and CO₂ emissions remains predominantly positive throughout the analyzed period, with no clear evidence of a turning point leading to emission reductions in wealthier countries. This suggests that economic growth alone may not be sufficient to mitigate environmental impacts, reinforcing the need for active environmental policies. These findings contribute to the sustainable development debate and support the formulation of more effective strategies for reducing global emissions.

Keywords: Environmental Kuznets Curve (EKC), Economic Growth and CO₂ Emissions, Sustainable Development.

SUMÁRIO

1. Introdução.....	9
2. Marco teórico	11
3. Revisão da literatura.....	14
4. Metodologia	17
4.1 Abordagem de Escolha do Método.....	20
4.2 Modelo Final	23
5. Resultados.....	25
6. Conclusão	29
Referências	31
Apêndice.....	33

1. INTRODUÇÃO

No pós-guerra, houve uma aceleração do crescimento econômico num contexto de reconstrução europeia. Parte dela, concretizada com o ônus da poluição (principalmente) nos grandes centros urbanos em um elevado consumo dos recursos naturais. Essa reconstrução, levantou preocupação dos ambientalistas da época culminando em estudos pioneiros que questionaram a viabilidade de um modelo econômico baseado no crescimento ilimitado.

Um marco importante no início dos estudos sobre impactos ambientais foi o relatório “Os Limites do Crescimento”, elaborado em 1972 por cientistas do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), sob encomenda do “Clube de Roma”, uma organização internacional fundada em 1968, composta por cientistas, intelectuais, políticos e empresários, com o objetivo de abordar questões globais relacionadas ao desenvolvimento sustentável.

O estudo simulou, por meio de sistemas computacionais, a interação entre as atividades humanas e o meio ambiente, alertando que, mantidos os padrões de consumo da época, os recursos naturais se esgotariam em menos de 100 anos (MEADOWS et al., 1972). Apesar de sua grande repercussão, o relatório enfrentou críticas de figuras políticas, que acusaram o Clube de Roma de promover o retrocesso econômico.

Paralelamente, surgiram iniciativas globais para mitigar os impactos ambientais, como o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP), criado pela ONU. Essas ações consolidaram o conceito de desenvolvimento sustentável, formalizado no relatório Brundtland de 1987 (WCDE, 1987), que propõe equilibrar crescimento econômico e preservação ambiental, assegurando recursos para as próximas gerações.

Na década de 1990, com as ideias de Grossman e Krueger, surgiu a Curva Ambiental de Kuznets (CAK), que servira como base de estudos e análises sobre o crescimento econômico sustentável.

A CAK é uma base teórica amplamente utilizado para analisar a relação entre crescimento econômico e impacto ambiental. Ela sugere que, nos estágios iniciais do desenvolvimento, a industrialização intensiva e a falta de regulamentação ambiental resultam em um aumento significativo da degradação ambiental. No entanto, à medida que a renda per capita cresce, ocorre uma transição: maior conscientização ambiental, avanços tecnológicos e a implementação de políticas públicas mais rigorosas levam à

estabilização e, posteriormente, à redução dos impactos ambientais. Assim, a CAK propõe um formato em “U” invertido, onde a poluição cresce nos estágios iniciais do desenvolvimento econômico, atinge um pico e, em seguida, diminui conforme a economia se torna mais avançada e sustentável.

Após o desenvolvimento teórico, vários trabalhos testaram empiricamente validade da CAK. No entanto, há muitas divergências dos resultados quanto aos testes empíricos aplicados ao longo dos tempos.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo: testar a validade da CAK, proposta por Grossman e Krueger, usando a metodologia de dados em painel numa amostra de 161 países, no período de 2000 a 2020.

Assim, a presente pesquisa busca contribuir para o debate empírico, utilizando um método já consolidado cientificamente para analisar os dados e verificar se a relação em formato de "U" invertido se manifesta no período de 2000 a 2020 nas nações analisadas. Além disso, buscará realizar uma análise macroeconômica que relacione crescimento econômico e impacto ambiental, contribuindo para a compreensão das dinâmicas socioeconômicas e ambientais contemporâneas.

Além do presente capítulo, o trabalho ainda apresentará mais 5 capítulos. No capítulo 2 será abordado o referencial teórico que trata do desenvolvimento econômico aliado aos impactos ambientais. O capítulo 3 apresentará uma revisão literária, o capítulo 4, apresenta a metodologia utilizada em forma de pesquisa quantitativa e análise econométrica com os modelos e descrições de suas variáveis. O capítulo 5 apresenta os resultados e por fim, a conclusão.

¹ Os países utilizados na pesquisa estão listados no apêndice

2. MARCO TEÓRICO

A relação entre crescimento econômico e impacto ambiental tem sido um tema amplamente debatido na literatura econômica. Enquanto modelos clássicos sugeriam um *trade-off* inevitável entre progresso econômico e preservação ambiental, pesquisas desafiaram essa visão ao indicar que, sob certas condições, o crescimento pode levar à melhoria da qualidade ambiental.

Essa hipótese foi formalizada na Curva Ambiental de Kuznets (CAK), uma relação empírica desenvolvida por Grossman e Krueger (1991) e posteriormente consolidada por estudos como os de Shafik e Bandyopadhyay (1992) e o Relatório de Desenvolvimento Mundial do Banco Mundial (BIRD, 1992).

A lógica subjacente à CAK sugere que, em estágios iniciais do desenvolvimento econômico, a industrialização acelerada e o aumento da produção levam a uma piora dos indicadores ambientais. No entanto, após atingir um certo nível de renda per capita, a relação se inverte, e as economias passam a investir em tecnologias mais limpas, regulamentações ambientais mais rigorosas e políticas de conscientização, resultando na redução da degradação ambiental (PANAYOTOU, 1993).

Esse fenômeno, frequentemente representado por uma curva em forma de "U" invertido, implicaria que o crescimento econômico, longe de ser apenas um fator prejudicial ao meio ambiente, pode ser um motor para sua preservação em longo prazo.

Embora a Curva de Kuznets tenha sido originalmente formulada para explicar a relação entre desigualdade e crescimento econômico (Kuznets, 1955), sua aplicação ao meio ambiente surgiu décadas depois, como resposta à preocupação crescente com os impactos da globalização e da industrialização.

O estudo seminal de Grossman e Krueger (1991), ao analisar os efeitos ambientais do NAFTA, indicou que poluentes como o dióxido de enxofre (SO₂) apresentava um comportamento compatível com a hipótese da CAK.

Essa visão foi reforçada pelo Banco Mundial (Pág. 36, BIRD, 1992), ao argumentar que “a ideia de que uma maior atividade econômica inevitavelmente prejudica o meio ambiente é baseada em suposições estáticas sobre tecnologia, preferências e investimentos ambientais”.

Beckerman (1992) foi ainda mais enfático ao afirmar que, embora o crescimento econômico frequentemente leve à degradação ambiental nos estágios iniciais, a longo prazo, "a melhor – e provavelmente a única – maneira de alcançar um ambiente decente na maioria dos países é tornar-se rico".

Apesar da popularização do conceito, Cole (2003) aponta que a CAK não se aplica universalmente a todos os tipos de poluentes ou impactos ambientais. Poluentes locais, como o enxofre e o material particulado, tendem a seguir a trajetória proposta, enquanto emissões globais, como os gases de efeito estufa, podem não apresentar a mesma relação.

A literatura sobre a Curva Ambiental de Kuznets identifica três mecanismos principais responsáveis pela possível inflexão na degradação ambiental conforme a renda per capita aumenta: efeito escala, efeito composição e efeito tecnologia (PANAYOTOU, 1993). São eles: efeito escala, efeito composição e efeito tecnológico.

(a) Efeito escala

O efeito escala refere-se ao aumento proporcional na poluição e no uso de recursos naturais em resposta à expansão da atividade econômica. De acordo com Andreoni e Levinson (2001), quando a estrutura produtiva e as tecnologias permanecem inalteradas, um crescimento econômico de 1% tende a resultar, em média, em um aumento correspondente de 1% na poluição. Esse fenômeno é particularmente evidente nas fases iniciais do desenvolvimento econômico, onde a intensificação da atividade industrial e o consumo de energia derivada de combustíveis fósseis são predominantes. Da mesma forma, caso ocorra uma redução proporcional da atividade econômica, espera-se que a poluição diminua na mesma medida.

(b) Efeito composição

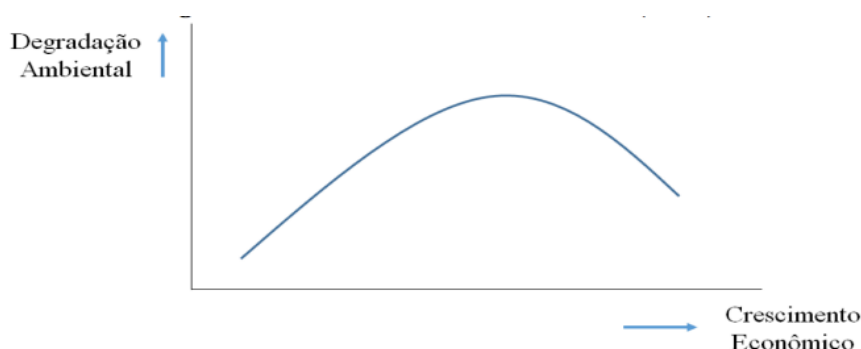
O efeito composição refere-se à mudança no setor produtivo ao longo do desenvolvimento econômico. Inicialmente, as economias dependem fortemente de setores extrativos e indústrias pesadas, que são altamente poluentes. No entanto, à medida que o país se desenvolve, há uma transição para setores menos intensivos em emissões, como serviços e manufatura leve, reduzindo o impacto ambiental per capita (STERN et al., 2001).

(c) Efeito tecnologia

O efeito tecnologia representa avanços na eficiência produtiva, levando a uma redução na emissão de poluentes por unidade de produção. Isso pode ocorrer por meio de inovação em processos industriais, regulamentações ambientais mais rigorosas e maior conscientização da população. Stokey (1998) argumenta que mudanças endógenas na tecnologia podem ser decisivas para a inflexão da CAK, enquanto Selden e Song (1995) destacam que, sem políticas adequadas, a adoção de tecnologias limpas pode ser lenta e desigual entre os países.

A Figura 1 apresenta uma CAK teórica descrita de acordo com as três etapas previstas.

Figura 1 – Curva Ambiental de Kuznets (CAK)



Fonte: Revista Espacios 2017

Apesar da robustez empírica de alguns estudos, a CAK tem sido alvo de críticas substanciais. Arrow (1995) argumentam que a hipótese da CAK pode ser um caso particular e não uma regra geral, pois depende de fatores institucionais e do nível de aplicabilidade das políticas ambientais.

Além disso, Stern (2004) observa que a relação em "U" invertido pode mascarar um fenômeno de deslocamento da poluição para países em desenvolvimento, fenômeno conhecido como poluição exportada. De acordo com Cole (2003), países ricos podem reduzir suas emissões internamente enquanto transferem suas indústrias mais poluentes para nações menos desenvolvidas, resultando em uma falsa sensação de melhoria ambiental.

Outra limitação da CAK é a ausência de um mecanismo teórico único que explique de forma universal sua eficácia. Lopez (1994) e Bulte e Van Soest (2001) sugerem que diferentes trajetórias ambientais podem surgir dependendo das especificidades de cada economia, como nível educacional, maturidade institucional e acesso a tecnologias limpas.

Além disso, a hipótese da CAK não considera suficientemente o impacto de externalidades ambientais globais. Enquanto poluentes locais podem ser controlados por políticas nacionais, problemas como mudanças climáticas exigem coordenação internacional e comprometimento multilateral, o que pode comprometer a aplicabilidade universal da CAK (ANSUATEGI e PERRINGS, 2000).

Pesquisas mais recentes sugerem que a transição para um modelo econômico sustentável depende de fatores como regulamentação ambiental, inovação tecnológica e conscientização social.

Magnani (2001) argumenta que a implementação de políticas ambientais rigorosas e o fortalecimento institucional são fundamentais para que a inflexão da CAK ocorra. Sem essas intervenções, o crescimento econômico por si só pode não ser suficiente para reduzir a degradação ambiental.

Dessa forma, a aplicabilidade da teoria exige cautela, uma vez que fatores como regulação ambiental, inovação tecnológica e transição setorial influenciam a trajetória das emissões (PANAYOTOU, 1993; ANSUATEGI e PERRINGS, 2000).

O deslocamento da poluição para países com menor rigor ambiental também desafia a ideia de que o crescimento econômico, por si só, leva à redução da degradação (COLE, 2003).

O desenvolvimento teórico da CAK, deu origem a vários trabalhos empíricos buscando testar sua validade. O presente estudo busca contribuir para essa literatura empírica, e assim entender como o crescimento econômico impacta o meio ambiente.

O próximo capítulo apresenta uma revisão da literatura empírica sobre a validade da CAK.

3. EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS DA CAK

Essa revisão da literatura apresenta os artigos mais recentes e/ou mais citados sobre a Curva Ambiental de Kuznets, de forma a corroborar com a pertinência da metodologia e sua evolução mesmo após 3 décadas de extensão e evolução da teoria.

Sousa, Sousa e Santos (2017), analisaram a validade da curva ambiental de Kuznets para 51 países, de diferentes níveis de desenvolvimento e cultura, no período de 2005 a 2010, usando a metodologia de dados em painel. Os autores usaram como variável dependente a emissão de CO₂ per capita e como variáveis exploratórias o PIB per capita, a expectativa de vida e a participação da manufatura no PIB.

Os autores encontraram resultados que não confirmam a previsão da CAK, mas que são promissores e complementam a teoria econômica: a curva se apresenta em forma de “N”. O nível de emissão de CO₂ per capita é crescente, independentemente do nível do PIB per capita, conseqüentemente, não havendo o “turning-point”, para o qual os níveis de emissão de poluentes tornam decrescentes para níveis de renda per capita maiores, como conjecturados pela curva CAK (SOUZA, SOUZA E SANTOS, 2017).

No artigo “Crescimento econômico e degradação ambiental: uma análise empírica com dados em painel a partir da hipótese da Curva Ambiental de Kuznets” dos autores Almeida, Silva, Vieira e Saiani (2017), o qual, durante o estudo visam verificar diferentes dimensões ambientais e a forma como se relacionam com o crescimento econômico, por meio da heterogeneidade dos Estados brasileiros observados (espaço de análise) com as variáveis: morbidade por saneamento, renda, educação, água encanada, esgoto, entre outros. Estudo esse realizado como forma de testar a validade da hipótese fundamental da CAK.

Os principais resultados indicam uma redução, tanto do déficit de acesso a água quanto para o déficit de acesso a esgoto, no estágio inaugural de crescimento/ desenvolvimento econômico dos Estados brasileiros e à medida que a renda per capita aumenta, esses déficits tendem também a aumentar, revertendo-se a inclinação da curva para faixas de renda mais altas, ou seja, corroborando com a CAK idealizada em teoria em certo ponto.

Logo, indica-se que o formato tradicional de U-invertido da CAK ocorre apenas a partir de certo nível de desenvolvimento econômico, no caso dos Estados brasileiros, durante o período de análise (ALMEIDA, SILVA, VIEIRA E SAIANI, 2017).

Na monografia “Crescimento econômico e emissões de gases de efeito estufa: uma análise de Co integração em painel para os estados brasileiros de 2002 a 2015” de Sereno (2019), utiliza da hipótese da CAK, aplicando ao longo prazo com a metodologia de estimação de valores de Co integração (por meio de FMOLS e DOLS) para entender as fontes de emissão de CO₂ em cada estado brasileiro de acordo com a singularidade de cada realidade definida regionalmente.

O resultado encontrado por Sereno (próximo ao artigo de Sousa, Sousa e Santos - 2017), encontrando a existência de uma curva em formato de “N” para a relação entre emissões de GEE (Gases de Efeito Estufa) per capita e renda per capita. Logo, os resultados trazem que não há expectativa, no Brasil, de que o crescimento econômico, por si só, implique em melhorias ambientais (SERENO, 2019).

No artigo “Desmatamento e Crescimento Econômico no Brasil: uma análise da Curva de Kuznets Ambiental para a Amazônia Legal” os autores Oliveira, Almeida, Freguglia e Barreto (2011). No presente trabalho, analisaram com preocupação o crescimento econômico relacionado com o desmatamento da região amazônica testado por modelos econométricos de dados em painel.

Por meio da CAK, o uso de modelos dos dados permitiu a superação de limitações comuns às estimações em corte cruzado, mais conhecida como “*cross-section*” em séries temporais. Este trabalho contribuiu com uma análise econométrico-espacial, utilizando um painel de dados mais extenso que os de estudos anteriores (OLIVEIRA, ALMEIDA, FREGUGLIA E BARRETO, 2011).

Os resultados mostram que a relação entre desmatamento e crescimento econômico da região amazônica poder ser expressa por meio de uma relação na forma de “N” invertido, indicando que há uma perspectiva de redução do desmatamento em níveis mais altos de renda, após uma fase de crescimento econômico com degradação ambiental. Os autores concluem que, há um aumento de produtividade nas áreas desmatadas, fortalecimento institucional para a proteção da floresta e maior consciência ambiental por meio de educação e acesso à informação são fatores que podem levar ao efeito esperado de redução do desmatamento (OLIVEIRA, ALMEIDA, FREGUGLIA E BARRETO, 2011).

Portanto, a revisão da literatura empírica, mostra que a validade da CAK é considerada nos estudos empíricos “incompleta” ou mesmo parcial em maior parte dos

estudos, dado o momento em que foi idealizada, apesar de extremamente válida no entendimento. Dessa forma, como destacado anteriormente, esse trabalho busca contribuir para essa literatura empírica, utilizando a Curva Ambiental de Kuznets (CAK) como base teórica e a metodologia de dados em painel para testar a validade da CAK, em um grupo de 161 países ao longo de 2000 a 2020, o que permite observar como essa relação evolui tanto ao longo do tempo quanto entre diferentes economias. Para isso, foram utilizados dados da emissão de CO₂ per capita, PIB per capita, expectativa de vida e participação da indústria no PIB. A metodologia usada é apresentada no próximo capítulo.

4. METODOLOGIA

O estudo foi conduzido no software RStudio, utilizando técnicas estatísticas voltadas para modelagem econométrica de dados em painel, uma abordagem estatística que permite acompanhar múltiplas unidades (países) ao longo do tempo, fornecendo estimativas mais robustas e confiáveis. O uso desse tipo de dado apresenta diversas vantagens metodológicas.

Primeiramente, melhora as propriedades estatísticas da estimação, pois proporciona maior variabilidade dos dados, reduz colinearidade entre as variáveis explicativas, aumenta os graus de liberdade e melhora a eficiência dos estimadores (HSIAO, 2014). Além disso, essa abordagem é mais adequada para examinar a dinâmica das mudanças ao longo do tempo, permitindo capturar padrões temporais na relação entre crescimento econômico e degradação ambiental.

Outro fator determinante para a escolha do modelo de painel é a sua capacidade de controlar a heterogeneidade entre as unidades *cross-section* (cortes transversais) por países, incorporando efeitos fixos ou aleatórios que capturam características específicas de cada país que podem influenciar simultaneamente o crescimento econômico e a degradação ambiental.

A questão que esse trabalho quer responder é: realmente existe uma relação previsível entre crescimento econômico e impacto ambiental? A CAK sugere que, inicialmente, o aumento da renda gera mais poluição, mas, a partir de um certo ponto, essa tendência se reverte e os países começam a adotar práticas mais limpas. Isso se verifica a partir dos dados disponíveis?

Assim, o modelo empírico escolhido para analisar estas relações é representado por:

$$DA_{it} = \beta_0 + \beta_1 Y_{it} + \beta_2 Ex_{it} + \beta_3 Plpib_{it} + \epsilon_{it} \quad (1)$$

Onde:

- Os índices i e t representam, respectivamente, o país e o período analisado.
- DA_{it} representa degradação ambiental, aqui medida pelas emissões de CO_2 per capita (indicador da degradação ambiental).
- Y_{it} é o crescimento econômico, medido pelo PIB per capita.

- Ex_{it} é a expectativa de vida ao nascer - pode indicar se países mais desenvolvidos adotam práticas mais sustentáveis à medida que a população vive mais.
- $PIpib_{it}$ é a participação da indústria no PIB, um fator essencial para avaliar se a industrialização tem influência direta na emissão de poluentes.
- $\epsilon_{it} = \alpha_i + \varepsilon_{it}$ é o termo de erro composto do modelo, sendo ε_{it} o distúrbio aleatório (capta o impacto de fatores não observados sobre a variável dependente) e α_i uma variável aleatória que capta a heterogeneidade ou as características não observadas, específicas de cada país, que afetam a inovação.

Logo, a especificação da equação central apresentada busca analisar a relação entre crescimento econômico e degradação ambiental, fundamentada na teoria da Curva Ambiental de Kuznets (CAK). A variável dependente DA_{it} é mensurada pelas emissões de degradação ambiental (CO_2 per capita), representando o impacto ambiental causado pelo desenvolvimento econômico. Os índices i e t referem-se, respectivamente, aos países e aos períodos analisados, elementos essenciais para o uso adequado dos dados em painel.

O crescimento econômico Y_{it} medido pelo PIB per capita, é o principal parâmetro de interesse. Segundo a hipótese da CAK, espera-se que este parâmetro apresente um efeito inicialmente positivo sobre DA_{it} , refletindo que o crescimento econômico aumenta as emissões em estágios iniciais de desenvolvimento. Contudo, em níveis mais elevados de renda per capita, o impacto sobre as emissões deve se reduzir ou até mesmo se tornar negativo, sugerindo um ponto de inflexão que validaria a CAK.

A variável Ex_{it} , correspondente à expectativa de vida ao nascer, é incluída no modelo para avaliar se países mais desenvolvidos, com maior longevidade, adotam práticas mais sustentáveis que contribuem para a redução das emissões. Essa inclusão é relevante, pois políticas ambientais rigorosas e padrões de vida mais elevados podem ter impactos positivos na sustentabilidade ambiental.

O termo $PIpib_{it}$ refere-se à participação da indústria no PIB, um fator essencial para verificar se a industrialização influencia diretamente nas emissões de CO_2 . Um coeficiente positivo para essa variável indicaria que o setor industrial continua a ser um forte determinante do aumento das emissões, independentemente do nível de desenvolvimento econômico alcançado.

Já o termo de erro composto ϵ_{it} é formado por α_i capta características específicas de cada país que não variam ao longo do tempo, como políticas ambientais históricas e

infraestrutura, enquanto ε_{it} é o erro aleatório que engloba fatores não observados ou não incluídos explicitamente no modelo.

Dessa forma, seguindo a teoria descrita, a CAK é validada quando o modelo evidencia a presença de um ponto de inflexão na relação entre crescimento econômico e degradação ambiental, ou seja, quando o coeficiente do PIB per capita é positivo nas fases iniciais de desenvolvimento econômico e se torna negativo em níveis mais altos de renda, indicando que o aumento da renda per capita, após certo ponto, resulta em uma diminuição da degradação ambiental. No entanto, caso o modelo apresente apenas um coeficiente positivo e significativo para o PIB per capita, sem mudança de sinal ao longo da amostra, isso indica que não existe um ponto de inflexão e, portanto, a CAK não é validada para os países e o período analisado. No presente trabalho, o modelo de Efeitos Fixos demonstrou que a relação entre PIB per capita e emissões de CO₂ é predominantemente positiva e significativa, sugerindo que não há evidência de inflexão que sustente a hipótese da CAK.

Ademais, a escolha da base de dados foi fundamentada em testes estatísticos e na natureza dos dados em painel, que combinam características de corte transversal (cross-section) e séries temporais (time series) de forma a trazer todos os países que possuíam uma base disponível no período analisado no trabalho.

A seguir, será apresentado os testes utilizados para escolher o modelo (4.1) bem como a modelo escolhido (4.2).

4.1 Abordagem de Especificação do Modelo

Quando se trabalha com dados em painel existem dois principais modelos que podem ser utilizados. o *Pooled Model* (Modelo Pooled), e o Modelo de Efeitos Individuais Específicos tem duas variantes: o Modelo de Efeitos Fixos ou Fixed Effects (FE) e o Modelo de Efeitos Aleatórios ou Random Effects (RE).

O Modelo Pooled é uma abordagem econométrica que utiliza Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) para estimar os coeficientes das variáveis explicativas, tratadas como estimadores que capturam a relação média entre essas variáveis e a variável dependente para toda a amostra (WOOLDRIDGE, 2002). Nesse modelo, assume-se que todos os países compartilham a mesma estrutura econômica e ambiental, ignorando diferenças individuais que possam afetar os resultados.

Os estimadores do Modelo Pooled são considerados viesados e inconsistentes quando existem características específicas de cada país que não são controladas, como políticas ambientais, infraestrutura ou nível de desenvolvimento tecnológico. Essa limitação ocorre porque o modelo não distingue entre variações dentro dos países e entre os países, tratando todas as observações como se fossem homogêneas. Portanto, a principal crítica ao modelo é que ele pode produzir resultados distorcidos devido à omissão de variáveis relevantes que afetam os estimadores.

Partindo para o modelo de Efeitos Fixos essa é uma técnica estatística utilizada em análises de dados em painel que controla características específicas e inalteráveis de cada unidade observada (como países, indivíduos ou empresas) ao longo do tempo. O modelo assume que essas características são constantes e potencialmente correlacionadas com as variáveis explicativas, permitindo obter estimativas consistentes mesmo na presença de variáveis omitidas que não variam ao longo do tempo.

A principal vantagem do modelo de Efeitos Fixos é eliminar essa heterogeneidade não observada ao diferenciar os dados, por exemplo, subtraindo a média das observações de cada unidade, garantindo assim maior precisão e robustez nas estimativas geradas.

Destrinchando sobre o Modelo de Efeitos Aleatórios (EA) temos que, o mesmo trata as diferenças individuais entre os países como parte do termo de erro, assumindo que essas diferenças são aleatórias e não correlacionadas com as variáveis explicativas. Ao contrário dos Efeitos Fixos, que consideram essas diferenças como características específicas e constantes, o EA presume que os países analisados representam uma amostra aleatória de uma população maior.

Os estimadores usados nesse modelo são o Estimador de Mínimos Quadrados Generalizados (GLS) e o Estimador de Máxima Verossimilhança (MLE), que ajustam os erros padrão para capturar a variabilidade entre os países. Essa abordagem é útil quando se espera que as diferenças individuais sejam aleatórias e não influenciem diretamente os resultados, proporcionando estimativas mais eficientes e generalizáveis em comparação com o MQO simples.

Assim, para estimar a equação 01 o primeiro procedimento é aplicar os “testes de especificação de modelos para dados em painel”¹ sugeridos na literatura. Foram aplicados o *Breusch-Pagan test (LM: Lagranger-multiplier)*, o teste F (Teste Chow) e o teste de Hausman.

Assim, para estimar a equação 01, o primeiro passo foi aplicar os testes de especificação de modelos para dados em painel, amplamente recomendados na literatura. Esses testes são essenciais para garantir que a abordagem escolhida seja a mais adequada para analisar a relação entre crescimento econômico e emissões de CO₂. Foram utilizados três testes principais: Breusch-Pagan (LM), Teste F (Chow) e Teste de Hausman.

O Teste de Breusch-Pagan (LM) é imprescindível para detectar a presença de heterocedasticidade, que ocorre quando os erros do modelo apresentam variações desiguais ao longo das observações, algo comum em estudos que envolvem diversos países. A hipótese nula (H₀) deste teste supõe que a variância dos erros é constante (homocedástico). Quando essa hipótese é rejeitada, é um indicativo claro de que existe heterocedasticidade significativa, o que pode comprometer a validade das inferências estatísticas. Para corrigir esse problema, utilizou-se a matriz de variância robusta de White-Huber, que ajusta os erros-padrão considerando essa variação não uniforme e assegura que as estimativas sejam robustas e confiáveis.

O Teste F (Chow) também foi aplicado para avaliar se o Modelo de Efeitos Fixos era adequado quando comparado ao Modelo Pooled. A hipótese nula (H₀) sugere que não existem diferenças relevantes entre os países, ou seja, todos compartilham a mesma estrutura econômica e ambiental. Contudo, ao rejeitar essa hipótese, foi possível concluir que os países possuem características próprias que precisam ser consideradas para que o modelo reflita melhor a realidade observada. Isso reforça a adequação do modelo de Efeitos Fixos, que permite capturar essas diferenças estruturais entre os países.

Partindo para o terceiro teste temos o de Hausman, essencial para definir se o modelo mais adequado é o de Efeitos Fixos ou o de Efeitos Aleatórios. Nele se verifica se os efeitos individuais dos países estão correlacionados com as variáveis explicativas. A hipótese nula (H₀) assume que esses efeitos individuais são independentes das variáveis explicativas, sugerindo que o uso do Modelo de Efeitos Aleatórios seria apropriado. No

² Os resultados detalhados de todos os testes estão nos apêndices

entanto, quando essa hipótese é rejeitada, como foi o caso deste estudo, significa que os efeitos específicos de cada país influenciam diretamente as variáveis explicativas, o que justifica o uso do Modelo de Efeitos Fixos para garantir resultados mais precisos e consistentes.

Após identificar que o Modelo de Efeitos Fixos era o mais adequado, foram realizados ajustes adicionais para garantir que os resultados fossem estatisticamente válidos e confiáveis. A heterocedasticidade identificada pelo Teste de Breusch-Pagan foi corrigida por meio da aplicação da matriz de variância robusta de White-Huber. Além disso, o Teste de Wooldridge apontou a presença de autocorrelação serial, o que motivou o uso de erros-padrão robustos pelo método HC4. Essa correção é importante porque assegura que os erros-padrão não sejam subestimados, tornando os resultados mais realistas e consistentes.

A correção da autocorrelação serial e da heterocedasticidade possibilitou que os efeitos fixos fossem aplicados de maneira adequada, garantindo que os resultados fossem mais robustos e válidos. Esse tratamento adequado dos dados é fundamental para garantir que os efeitos fixos consigam capturar corretamente as características específicas de cada país, eliminando vieses que poderiam surgir devido a fatores estruturais não incluídos no modelo. Ao garantir a robustez dos resultados, a metodologia aplicada permite uma análise mais confiável da relação entre crescimento econômico e emissões de CO₂, essencial para avaliar a validade da Curva Ambiental de Kuznets.

4.2 Modelo Final

O modelo final de Efeitos Fixos foi estimado utilizando o Estimador Within, forma que é amplamente aplicado para painéis balanceados com características individuais constantes ao longo do tempo (assim como o trabalho descrito). Esse método elimina a heterogeneidade específica de cada país ao subtrair a média temporal de cada variável para cada indivíduo (país), removendo assim fatores não observáveis que poderiam enviesar os resultados.

A escolha pelo Estimador Within se justifica pelo seu desempenho em eliminar vieses causados por características fixas e não observáveis de cada país no estudo, como infraestrutura, políticas ambientais e condições climáticas históricas. Embora o R²

ajustado do modelo seja relativamente baixo, essa métrica não compromete a validade dos resultados, pois o foco principal do modelo de Efeitos Fixos é fornecer estimativas consistentes e robustas, mesmo quando variáveis importantes não podem ser diretamente observadas ou mensuradas. Dessa forma, o modelo final atende aos requisitos necessários para analisar a relação entre PIB per capita e emissões de CO₂ de forma confiável e significativa.

5. RESULTADOS

Os resultados obtidos pelo modelo de Efeitos Fixos indicam que a degradação ambiental (emissões de CO₂) está positivamente associada ao crescimento econômico, representado pelo PIB per capita. O coeficiente estimado para a variável de crescimento econômico foi $2.1569e^{-05}$, com um p-valor altamente significativo ($7.441e^{-06}$), de maneira a reforçar a ideia de que, nos países analisados, o crescimento econômico está ligado ao aumento das emissões.

Esse achado se alinha a estudos que questionam a aplicabilidade universal da Curva de Kuznets Ambiental (CAK), sugerindo que, sem políticas ambientais eficazes, o crescimento pode perpetuar a degradação ambiental. No entanto, não há evidências de um ponto de inflexão (nos dados observados) que indique uma reversão dessa tendência dentro do período analisado, o que contrasta com algumas premissas defendidas na literatura clássica sobre a CAK.

Figura 1: Dados estatísticos do modelo de Efeitos Fixos

Coefficients:	Estimate	Std. Error	t-value	PR(>[t])
(Intercepto)	$-3.00110e^{-02}$	$9.9219e^{-03}$	-3.0347	0.002427
PI_PIB	$2.2981e^{-02}$	$3.9499e^{-03}$	5.8181	$6.538e^{-09}$
PIBPercapita.PPP	$2.1569e^{-05}$	$4.3491e^{-06}$	4.9593	$7.441e^{-07}$
EV	$3.3929e^{-02}$	$1.3154e^{-02}$	2.5793	0.009944
Adj. R-Squared	0.02199			
F-Statistic	25.1255			
P-value	$4.5959e^{-16}$			

Fonte: Elaboração própria (Através do RStudio).

A variável PI_PIB ($\hat{\beta}_3$), que mede a participação da indústria no PIB, apresentou um coeficiente positivo (0.022981, p-valor < $6.538e^{-09}$), confirmando que economias mais industrializadas tendem a apresentar maiores níveis de degradação ambiental (Emissões de CO₂).

Isso corrobora a visão de Stern (2004), que argumenta que a dinâmica da poluição ao longo do crescimento econômico está fortemente atrelada à estrutura produtiva dos países, e que a mudança para setores menos intensivos em emissões ocorre de maneira desigual entre diferentes regiões e períodos históricos.

Além disso, a expectativa de vida (EV) apresentou um coeficiente positivo e significativo (0.033929, p-valor = 0.009944), o que sugere que países com maior longevidade também promovem maior degradação ambiental. Este resultado pode estar associado ao nível de desenvolvimento, ou seja, países que possuem um maior nível de desenvolvimento que consomem mais energia e recursos, elevando as emissões.

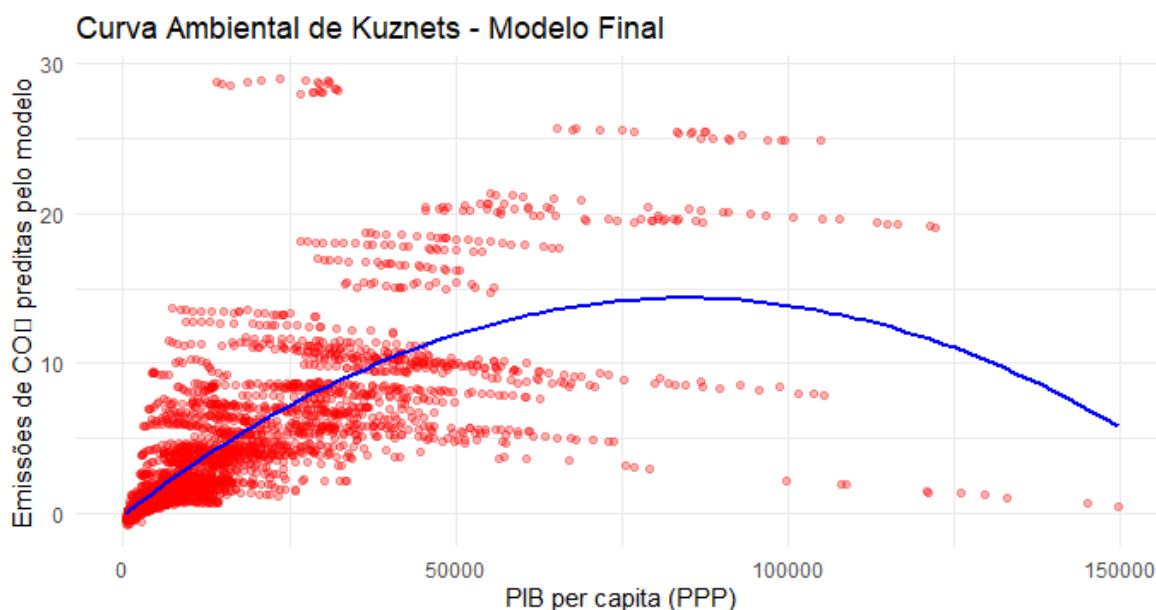
Esse resultado levanta questionamentos sobre a sustentabilidade ambiental dos países com maior desenvolvimento humano, reforçando a necessidade de políticas que incentivem a eficiência energética e a adoção de tecnologias limpas. O achado pode refletir tanto o crescimento do setor de serviços em países mais desenvolvidos, quanto a maior necessidade de infraestrutura urbana e transporte para atender populações mais longevas.

O R^2 ajustado do modelo (0.02199) indica que a variabilidade explicada pelas variáveis independentes é relativamente baixa, o que sugere que outros fatores não incluídos no modelo podem estar influenciando a relação entre crescimento econômico e emissões.

Esse resultado também está alinhado com as conclusões de Stern (2004), que destaca que a heterogeneidade das trajetórias ambientais dos países requer análises mais detalhadas sobre fatores institucionais e políticas ambientais. Além disso, o teste F (25.1255, p-valor $< 4.5959e^{-16}$) confirma a significância global do modelo, indicando que, apesar do baixo R^2 , as variáveis selecionadas contribuem significativamente para explicar as variações nas emissões de CO₂.

Os resultados apresentados reforçam a ideia de que o crescimento econômico, sem a devida regulamentação ambiental, pode levar a um aumento contínuo das emissões de CO₂, sem evidências claras de que a transição para uma economia mais limpa ocorra de forma espontânea. A inclusão do PIB per capita como variável explicativa no modelo revelou um comportamento relevante, indicado pela Curva Ambiental de Kuznets gerada (Figura 2).

Figura 2: Curva Ambiental de Kuzners – Modelo Final



Fonte: Elaboração própria (Através do RStudio).

A curva exibida na Figura 2 demonstra uma relação não linear entre o PIB per capita e as emissões de CO₂, onde, inicialmente, o aumento da renda per capita está associado ao crescimento das emissões, atingindo um ponto máximo (ponto de inflexão) e, posteriormente, mostrando uma tendência decrescente. Este comportamento em formato de “U” invertido é característico da hipótese da CAK, que sugere que, após certo nível de desenvolvimento econômico, os países tendem a implementar políticas ambientais mais rigorosas, além de adotar tecnologias mais limpas e eficientes.

O ponto de inflexão da curva é identificado visualmente como o pico da linha azul, após o qual as emissões começam a cair à medida que o PIB per capita continua a aumentar. A presença desse ponto de inflexão, ainda que sutil, sugere que, para determinados países com maior renda per capita, existe uma tendência de redução das emissões de CO₂. Contudo, o fato dessa curva ser menos pronunciada do que o esperado sugere que muitos países ainda não atingiram um nível de desenvolvimento capaz de promover reduções significativas nas emissões.

Logo, consideremos a relevância da variável PI_PIB sugere que a dependência de setores industriais poluentes ainda é um dos principais determinantes das emissões, enquanto a relação positiva entre expectativa de vida e poluição levanta questões sobre os desafios ambientais enfrentados por países de alta renda. Além disso, a participação da indústria sugere que países cuja estrutura produtiva é mais voltada para o setor secundário

possuem uma maior pegada ambiental (CNI,2023). Esse resultado está em linha com o esperado, uma vez que setores industriais, especialmente os mais intensivos em energia, como siderurgia, química e mineração, são grandes emissores de CO₂.

Por fim, é importante destacar que a explicação estatística do modelo, medida pelo R² ajustado de 0,02199, indica que as variáveis consideradas explicam apenas uma fração da variação nas emissões. Esse resultado sugere que outros fatores estruturais podem estar desempenhando um papel relevante e deveriam ser incorporados em análises futuras, como políticas ambientais específicas, investimentos em energia limpa, desenvolvimento tecnológico e mudanças nos padrões de consumo. Isso evidencia que, embora o crescimento econômico seja um fator importante na dinâmica ambiental, sua relação com as emissões é mais complexa do que a proposta pela CAK em sua formulação clássica. Em suma, os dados analisados não sustentam a hipótese da Curva de Kuznets Ambiental para este conjunto de 161 países e período analisado, corroborando críticas levantadas na literatura de que essa relação pode não ser universal, mas sim, de casos específicos. (STERN, 2004).

6. CONCLUSÃO

A Curva Ambiental de Kuznets (CAK) tem sido um dos pilares teóricos na economia ambiental, trazendo a hipótese de que o crescimento econômico pode, em algum momento, reverter a degradação ambiental. Considerando que foi utilizado um modelo linear de Efeitos Fixos para analisar a relação entre crescimento econômico e emissões de CO₂, os resultados não indicaram a presença de um ponto de inflexão que caracterizaria a CAK. Ao invés disso, os coeficientes estimados sugerem que o crescimento econômico, representado pelo PIB per capita, está positivamente relacionado com as emissões de CO₂ ao longo do período analisado, de 2000 a 2020.

Pelo contrário, os resultados sugerem uma relação predominantemente crescente entre PIB per capita e emissões de CO₂, sem um ponto claro de inflexão. Isso reforça a necessidade de considerar fatores estruturais e políticas ambientais que influenciam essa dinâmica de forma mais complexa do que a teoria sugere.

O modelo de efeitos fixos adotado mostrou-se estatisticamente adequado, eliminando vieses causados por variáveis omitidas e capturando características específicas de cada país ao longo do tempo. No entanto, o baixo R² ajustado (2,19%) indica que grande parte da variação das emissões não é explicada apenas pelas variáveis selecionadas, sugerindo que outros fatores desempenham um papel crucial.

Elementos como regulamentação ambiental, incentivos a tecnologias limpas e a própria estrutura produtiva dos países podem influenciar fortemente as emissões, mas esses não foram diretamente considerados no modelo. Assim, ainda que o estudo ofereça insights valiosos, ele não esgota a discussão e reforça a complexidade do tema.

Em termos de políticas públicas, os achados indicam que confiar apenas no crescimento econômico como mecanismo natural de redução da poluição pode ser uma estratégia arriscada. Países que adotam medidas regulatórias mais rigorosas e investem em educação e/ou inovação tecnológica podem conseguir mitigar os impactos ambientais sem depender exclusivamente de um alto nível de desenvolvimento econômico.

Dessa forma, políticas que incentivem o uso de energias renováveis, eficiência energética e investimentos em infraestrutura sustentável podem ser fundamentais para uma transição para economias de baixo carbono.

Para pesquisas futuras, seria relevante aprimorar o modelo incorporando variáveis institucionais e sociais, como investimentos em políticas ambientais, regulamentações

específicas e nível educacional da população. Esses fatores podem influenciar significativamente a capacidade de um país em mitigar os impactos ambientais à medida que sua economia se desenvolve. Além disso, realizar análises regionais ou segmentadas por grupos de renda poderia revelar padrões distintos, especialmente entre países com características econômicas semelhantes, mas com abordagens ambientais diferenciadas.

Outro ponto importante seria a inclusão de variáveis “*dummy*”, que podem ser utilizadas para captar efeitos específicos de determinados países, períodos ou eventos únicos, como políticas ambientais implementadas em um ano específico ou crises econômicas que impactam o crescimento econômico e as emissões de CO₂. Essas variáveis ajudam a controlar características não observáveis que podem interferir na análise.

Portanto, ao incluir um conjunto mais amplo de variáveis e métodos mais robustos, poderemos compreender melhor se o crescimento econômico pode, de fato, ser um aliado na busca pela sustentabilidade ambiental, ou se políticas públicas e investimentos direcionados são indispensáveis para mitigar os impactos negativos do desenvolvimento econômico.

REFERÊNCIAS

- ANDREONI, J., & Levinson, A. (2001). **The simple analytics of the environmental Kuznets curve**. *Journal of Public Economics*, 80, 269–286.
- ANSUATEGI, A., & Perrings, C. A. (2000). **Transboundary externalities in the environmental transition hypothesis**. *Environmental and Resource Economics*, 17, 353–373.
- ARROW, K. et al. **Economic growth, carrying capacity, and the environment**. *Science*, v. 15, p. 91–95, 1995.
- BALTAGI, B. H. **Econometric Analysis of Panel Data**. 3th ed., John Wiley & Sons, 2005.
- BANCO MUNDIAL, **Data** The World Bank. Disponível em: . Acessado em: 19 dez. 2024. Banco de dados do Banco Mundial, 2024.
- BECKERMAN, W. Economic growth and the environment: whose growth? whose environment? **World Development**, v. 20, n. 4, p. 481–496, 1992.
- BULTE, E. H., & van Soest, D. P. (2001). **Environmental degradation in developing countries: Households and the (reverse) environmental Kuznets Curve**. *Journal of Development Economics*, 65, 225–235.
- C. HSIAO (2014), **Analysis of Panel Data**, 3rd edition. Cambridge, University Press.
- COLE, M. A. Trade, **The pollution haven hypothesis and the environmental Kuznets curve: examining the linkages**. *Ecological Economics*, p. 71–81, 2003.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI. **Oportunidades e riscos da descarbonização da indústria brasileira: roteiro para uma estratégia nacional**. Brasília: CNI, 2023. 112 p. ISBN 978-85-7957-299-9.
- GROSSMAN, G; KRUEGER. A. **Economic Growth and the Environment**. *Quarterly Journal of Economics*, v.110, n.2, p.353-377, 1995.
- KUZNETS, Simon. **Economic Growth and Income Inequality**. *American Economic Review*, v.45, p.1-28. 1955.
- LOPEZ, R. (1994). **The environment as a factor of production: The effects of economic growth and trade liberalization**. *Journal of Environmental Economics and Management*, 27, 163–184.
- MAGNANI, E. (2001). **The environmental Kuznets curve: Development path or policy result?** *Environmental Modelling and Software*, 16, 157–166.

- MEADOWS, D. H. et al. **The limits to growth**. New York: Universe Books, 1972.
- OLIVEIRA, ALMEIDA, FREGUGLIA E BARRETO, **Desmatamento e Crescimento Econômico no Brasil: uma análise da Curva de Kuznets Ambiental para a Amazônia Legal**. Minas Gerais, 2011
- PANAYOTOU, T. **Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development**: Working Paper. Geneva: Technology and Employment Programme, 1993.
- SELDEN, T. M., & Song, D. (1995). **Neoclassical growth, the J curve for abatement and the inverted U curve for pollution**. Journal of Environmental Economics and Management, 29, 162–168.
- SERENO, **Crescimento econômico e emissões de gases de efeito estufa: uma análise de Co integração em painel para os estados brasileiros de 2002 a 2015**: Minas Gerais, 2019
- SHAFIK, N.; BANDYOPADHYAY, S. **Economic growth and environmental quality: a time series and cross-country evidence**. Journal of Environmental Economics and Management, v. 4, p. 1–24, 1992.
- SOUSA, SOUSA E SANTOS, **Curva Ambiental de Kuznets: uma análise macroeconômica entre crescimento econômico e impacto ambiental de 2005 a 2010**. Santa Catarina, 2017.
- STERN, D. I. **The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve**. World Development, v. 32, n. 8, p. 1419–1439, 2004.
- STERN, D. I.; COMMON, M. S. **Is There an Environmental Kuznets Curve for Sulfur?** Journal of Environment, v. 41, n. 2, p. 162–178, 2001.
- STOKEY, N. L. (1998). **Are there limits to growth?** International Economic Review, 39(1), 1–31.
- WCED - UNITED NATIONS WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. **Brundtland Report: Our Common Future**. United Nations, 1987. Disponível em: < [Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development](#)>
- WOOLDRIDGE, J.M. **Econometric analysis of cross section and panel data**. Boston, Massachusetts: MIT, 2002.

APÊNDICE

A- Teste de Breusch-Pagan

NORMAL	145.39
P-VALUE	$2.2e^{-16}$
Alternative hypothesis	significant effects

B- Teste de Hausman

CHISQ	583.24
DF	3
P-VALUE	$2.2e^{-16}$
Alternative hypothesis	One model is inconsistent

C- Teste de Wooldridge

F	989.37
DF1	1
DF2	3218
P-VALUE	$2.2e^{-16}$
Alternative hypothesis	serial correlation

D- Erros-padrão robustos HC4

Coefficients:	Estimate	Std. Error	t-value	PR(> t)
PI_PIB	3.5706e ⁻⁰²	1.1755e-02	3.0376	0.002404
PIBPercapita.PPP	-3.3205e-05	1.3296e-05	-2.4973	0.012565
EV	4.8839e-02	1.7133e-02	2.8505	0.004392

Países utilizados na base de dados:

Angola, Albania, United Arab Emirates, Argentina, Australia, Austria, Azerbaijan, Burundi, Belgium, Burkina Faso, Bangladesh, Bulgaria, Bahamas, Belarus, Belize, Bolivia, Brazil, Barbados, Brunei, Bhutan, Botswana, Canada, Switzerland, Chile, China, Cote d'Ivoire, Cameroon, Democratic Republic of Congo, Congo, Colombia, Comoros, Cape Verde, Costa Rica, Cyprus, Czechia, Germany, Dominica, Denmark, Dominican Republic, Algeria, Ecuador, Egypt, Spain, Estonia, Ethiopia, Finland, Fiji, France, Micronesia (country), Gabon, United Kingdom, Georgia, Ghana, Guinea, Gambia, Guinea-Bissau, Greece, Grenada, Guatemala, Guyana, Hong Kong, Honduras, Croatia, Haiti, Hungary, Indonesia, India, Ireland, Iran, Iraq, Iceland, Israel, Italy, Jamaica, Jordan, Japan, Kazakhstan, Kenya, Kyrgyzstan, Cambodia, Kiribati, Saint Kitts and Nevis, South Korea, Laos, Lebanon, Liberia, Sri Lanka, Lesotho, Lithuania, Luxembourg, Latvia, Macao, Morocco, Moldova, Mexico, Marshall Islands, North Macedonia, Mali, Malta, Myanmar, Montenegro, Mongolia, Mozambique, Mauritania, Mauritius, Malawi, Malaysia, Namibia, Niger, Nigeria, Nicaragua, Netherlands, Norway, Nepal, New Zealand, Oman, Pakistan, Panama, Peru, Philippines, Poland, Portugal, Paraguay, Palestine, Romania, Russia, Rwanda, Saudi Arabia, Sudan, Senegal, Singapore, Sierra Leone, El Salvador, Serbia, Suriname, Slovakia, Slovenia, Sweden, Eswatini, Seychelles, Chad, Togo, Thailand, Tajikistan, Turkmenistan, East Timor, Tonga, Trinidad and Tobago, Tunisia, Turkey, Tanzania, Uganda, Ukraine, Uruguay, United States, Uzbekistan, Saint Vincent and the Grenadines, Vietnam, Samoa, South Africa, Zambia.