

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**Centro de Engenharias**  
**Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais**  
**Mestrado em Ciências Ambientais**



Dissertação

**Inovação e desenvolvimento econômico:**  
impactos na performance ambiental em escala global

**Roberta Hoffmann Machado**

Pelotas, 2024

**Roberta Hoffmann Machado**

**Inovação e desenvolvimento econômico:**  
impactos na performance ambiental em escala global

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, do Centro de Engenharias da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestra em Ciências Ambientais.

Orientador: Dr. Érico Kunde Corrêa

Coorientador: Dr. Everton Anger Cavalheiro

Pelotas, 2024

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas  
Catalogação da Publicação

M149i Machado, Roberta Hoffmann

Inovação e desenvolvimento econômico [recurso eletrônico] :  
impactos na performance ambiental em escala global / Roberta Hoffmann  
Machado ; Érico Kunde Corrêa, orientador ; Everton Anger Cavalheiro,  
coorientador. — Pelotas, 2024.  
125 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Ciências  
Ambientais, Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas,  
2024.

1. Performance ambiental. 2. Inovação. 3. Desenvolvimento  
econômico. 4. Relações causais. 5. Curva ambiental de Kuznets. I.  
Corrêa, Érico Kunde, orient. II. Cavalheiro, Everton Anger, coorient. III.  
Título.

CDD 363.7

Elaborada por Simone Godinho Maisonave CRB: 10/1733

**INOVAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO: IMPACTOS NA  
PERFORMANCE AMBIENTAL EM ESCALA GLOBAL**

por

**Roberta Hoffmann Machado**

Dissertação submetida e aprovada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, PPGCAmb, do Centro de Engenharias da Universidade Federal de Pelotas, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de

**Mestre em Ciências Ambientais**

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Érico Kunde Corrêa (Orientador)

Doutor em Biotecnologia pela Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Everton Anger Cavalheiro (Coorientador)

Doutor em Administração pela Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Andreas Dittmar Weise – Hochschule (Titular)

Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Pascal Silas Thue (Titular)

Doutor em PPGQ/UFRGS pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Pelotas, 26 de Fevereiro de 2024

## Agradecimentos

Durante esta jornada passei por um *mix* de sentimentos e acontecimentos. Ser pesquisadora e trabalhadora do setor privado não é uma rotina fácil. Mas graças a toda rede de apoio, após meses investidos nessa pesquisa, chego até aqui, neste momento de conclusão. Assim, gostaria de expressar minha sincera gratidão a todos que me acompanharam ao longo do mestrado e contribuíram para a realização deste trabalho de conclusão.

Primeiramente, agradeço ao meu orientador, Dr. Érico Kunde Corrêa pelos valiosos *insights* durante a pesquisa. Mas, principalmente ao Coorientador Dr. Everton Anger Cavalheiro, quem vem me acompanhando desde a graduação e não mediu esforços para me suportar na realização deste sonho, o ingresso na vida acadêmica. Ao senhor professor Everton, agradeço toda orientação, apoio e amizade ao longo de todos esses anos. Sua expertise, dedicação e confiança foram fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos membros da banca examinadora, Dr. Andreas Dittmar Weise e Dr. Pascal Silas Thue, pela leitura cuidadosa do meu trabalho e pelas valiosas contribuições que enriqueceram significativamente o conteúdo final.

À UFPEL e seus recursos, que foram fundamentais para a realização da pesquisa, expresso minha gratidão.

Minha gratidão se estende aos colegas de trabalho, que compartilharam suas experiências e conhecimentos e que com sua felicidade, alegraram e motivaram meus dias, tornando essa trajetória mais prazerosa.

Ao meu melhor amigo, Ázlan Pretto, a quem divido a vida diariamente. Obrigada pelo cuidado, paciência, constante apoio emocional e encorajamento ao longo desses anos de mestrado. Foram horas de sono e momentos de lazer abdicados para estar ao meu lado suportando-me. Essa parceria foi a força motriz nos momentos desafiadores.

Agradeço também aos meus pais Sueli Hoffmann e Oscar Machado por todo amor, dedicação, incentivo, educação e possibilidades que me foram dadas. Vocês sempre fizeram o melhor por mim e para mim, ensinando-me que desafios existem para serem superados, basta ter caráter e perseverança. Vocês são minha inspiração e toda essa jornada é por vocês.

Por fim, dedico este trabalho a minha avó Maria Sueli Hoffmann, mulher, guerreira, professora, 95 anos. Aquela que me ensinou o poder da leitura, a regra dos nove, venceu adversidades e até estatística e eu tenho orgulho e prazer em ser neta.

Este trabalho representa a conclusão de um sonho e a busca de dias e versões sempre melhores de mim. A todos, meu sincero obrigada.

## Resumo

HOFFMAN MACHADO, Roberta. **Inovação e desenvolvimento econômico**: impactos na performance ambiental em escala global. Orientador: Érico Kunde Corrêa. 2024. 132 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Centro de Engenharias. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2024.

A presente dissertação mergulha nas complexas interações entre performance ambiental, inovação e desenvolvimento econômico em um contexto global em constante evolução. Ao longo de três artigos distintos, são exploradas diversas facetas dessas relações cruciais, oferecendo *insights* para a compreensão e formulação de políticas públicas e estratégias empresariais que visam um futuro mais sustentável e equitativo. No primeiro artigo, uma análise abrangente envolvendo 102 países no período de 2008 a 2022 revela uma relação bidirecional entre desenvolvimento econômico, inovação e performance ambiental. Demonstrou-se que tanto o desenvolvimento econômico quanto a inovação influenciam a performance ambiental, e vice-versa, com impactos tangíveis tanto a curto quanto em longo prazo. Esses achados oferecem uma compreensão mais profunda dos mecanismos subjacentes que conectam inovação e desenvolvimento econômico ao desempenho ambiental, fornecendo assim uma base sólida para políticas públicas orientadas para o desenvolvimento sustentável. No segundo artigo, a pesquisa se aprofundou na interação entre o PIB per capita, inovação e desempenho ambiental em 102 países durante o mesmo período, considerando a hipótese da Curva Ambiental de Kuznets (EKC). Os resultados revelaram nuances importantes, especialmente quando a inovação foi incorporada à análise. Além de confirmar a presença da EKC, uma nova perspectiva, a Curva Claudia de Inovação (CCI), foi introduzida, destacando como um aumento na inovação pode inicialmente resultar em desafios ambientais, mas eventualmente levar a melhorias substanciais, enfatizando assim a importância de políticas de inovação alinhadas com a sustentabilidade. Por fim, o terceiro artigo concentrou-se na influência de um ambiente inovador no crescimento econômico sustentável e na performance ambiental em 65 nações em 2022. Os resultados obtidos através de modelagem de equações estruturais corroboraram a importância de investimentos em educação e pesquisa para impulsionar a inovação e, por conseguinte, promover um desenvolvimento econômico sustentável. Além disso, destacou-se a sinergia entre inovação e desempenho ambiental, reforçando a necessidade de políticas diferenciadas para abordar os desafios globais de forma eficaz. Ao integrar os achados desses três artigos, esta dissertação oferece uma visão holística das interações entre inovação, desenvolvimento econômico e desempenho ambiental em escala global. Mais do que contribuir para o avanço do conhecimento acadêmico, essas descobertas têm implicações práticas significativas, fornecendo orientações para a formulação de políticas e de tomadas de decisão que visam um futuro mais sustentável e equilibrado.

**Palavras-chave:** Performance ambiental. Inovação. Desenvolvimento econômico. Relações causais. Curva Ambiental de Kuznets.

## Abstract

HOFFMANN MACHADO, Roberta. **Innovation and economic development: impacts on environmental performance on a global scale.** Advisor: Érico Kunde Corrêa. 2024. 132 f. Dissertation (master's in environmental science) – Engineering Center. Federal University of Pelotas, Pelotas, 2024.

The present thesis delves into the complex interactions between environmental performance, innovation, and economic development in a constantly evolving global context. Across three distinct articles, various facets of these crucial relationships are explored, offering insights for understanding and formulating public policies and business strategies aimed at a more sustainable and equitable future. In the first article, a comprehensive analysis involving 102 countries from 2008 to 2022 reveals a bidirectional relationship between economic development, innovation, and environmental performance. It was demonstrated that both economic development and innovation influence environmental performance, and vice versa, with tangible impacts both in the short and long term. These findings provide a deeper understanding of the underlying mechanisms connecting innovation and economic development to environmental performance, thus providing a solid foundation for public policies oriented towards sustainable development. In the second article, the research delved deeper into the interaction between per capita GDP, innovation, and environmental performance in 102 countries during the same period, considering the Environmental Kuznets Curve (EKC) hypothesis. The results revealed important nuances, especially when innovation was incorporated into the analysis. In addition to confirming the presence of the EKC, a new perspective, the Claudia Innovation Curve (CCI), was introduced, highlighting how an increase in innovation may initially result in environmental challenges but eventually lead to substantial improvements, thus emphasizing the importance of innovation policies aligned with sustainability. Finally, the third article focused on the influence of an innovative environment on sustainable economic growth and environmental performance in 65 nations in 2022. The results obtained through structural equation modeling corroborated the importance of investments in education and research to drive innovation and, consequently, promote sustainable economic development. Additionally, the synergy between innovation and environmental performance was highlighted, reinforcing the need for differentiated policies to effectively address global challenges. By integrating the findings of these three articles, this dissertation offers a holistic view of the interactions between innovation, economic development, and environmental performance on a global scale. Beyond contributing to the advancement of academic knowledge, these findings have significant practical implications, providing guidance for policy formulation and decision-making aimed at a more sustainable and balanced future.

**Keywords:** Environmental performance. Innovation. Economic development. Panel data. Causal relationships. Kuznets Environmental Curve.

## Lista de Figuras

Figura 1	Framework EPI .....	21
Figura 2	Países analizados .....	42
Figura 3	Framework EPI .....	73
Figura 4	Países analizados .....	77
Figura 5	EKC modificada .....	83
Figura 6	Modelo teórico.....	104
Figura 7	Países analizados.....	106
Figura 8	Modelo teórico .....	112

## Lista de Tabelas

Tabela 1	Principais estudos sobre a relação causal entre desenvolvimento econômico, inovação e desenvolvimento sustentável .....	36
Tabela 2	Modelos determinísticos .....	40
Tabela 3	Estatísticas descritivas .....	42
Tabela 4	Teste de raiz unitária para as variáveis: Performance Ambiental, Índice de Inovação e Variação Percentual ( $\Delta\%$ ) do PIB per capita no período de 2008 a 2022 (bases bianuais) .....	44
Tabela 5	Teste de Cointegração de Pedroni aplicado para as variáveis: Primeira Diferença ( $\Delta$ ) da Performance Ambiental, Primeira Diferença ( $\Delta$ ) do Índice de Inovação e Variação Percentual ( $\Delta\%$ ) do PIB per capita em bases bianuais, para o período de 2010 a 2022 (bases bianuais) .....	45
Tabela 6	Teste de Causalidade de Granger aplicado para as variáveis: Primeira Diferença ( $\Delta$ ) da Performance Ambiental, Primeira Diferença ( $\Delta$ ) do Índice de Inovação e Variação Percentual ( $\Delta\%$ ) do PIB per capita em bases bianuais, para o período de 2010 a 2022 (bases bianuais) .....	46
Tabela 7	Coefficientes e significância dos coeficientes dos modelos de regressão com efeitos fixos da variável exógena Índice de Performance Ambiental e variáveis endógenas: PIB per capita, PIB per capita ao quadrado e PIB per capita ao cubo, nas formas linear, quadrática e cúbica, em bases bianuais no período de 2008 a 2022 .....	78
Tabela 8	Pontos de inflexão (em dólares americanos) para cada estágio da Curva Ambiental de Kuznets .....	80
Tabela 9	Critérios de Akaike, Hanna-Quinn, Durbin-Watson e de Schwarz para decisão de modelo a ser utilizado .....	81

Tabela 10	Coeficientes e significância dos coeficientes dos modelos de regressão com efeitos fixos da variável exógena Índice de Performance Ambiental e variáveis endógenas: PIB per capita, PIB per capita ao quadrado e PIB per capita ao cubo, Índice de Inovação, Índice de Inovação ao quadrado e Índice de Inovação ao cubo, em bases bianuais no período de 2008 a 2022 .....	81
Tabela 11	Pontos de inflexão (em dólares americanos) para cada estágio da curva EKC modificada .....	84
Tabela 12	Mínimo, máximo, média, mediana, assimetria e curtose das variáveis utilizadas na pesquisa .....	107
Tabela 13	Valores do índice de ajuste, autores e valores de referência .....	109
Tabela 14	Cargas diretas estimadas (padronizadas) do modelo .....	110

## Lista de abreviaturas e siglas

ADF	Dickey-Fuller Aumentado
ASEAN	Associação das Nações do Sudeste Asiático
CCI	Curva Claudia de Inovação
CFI	<i>Comparative Fit Index</i>
CIESIN	<i>International Earth Science Information Network</i>
CIS	Estrutura Inovadora Comum
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
DS	Desenvolvimento sustentável
EFA	Análise fatorial exploratória
EKC	<i>Environmental Kuznets Curve</i> (Curva Ambiental de Kuznets)
EPI	<i>Environmental Performance Index</i> (Índice de Performance Ambiental)
GFI	<i>Goodness-of-Fit Index</i>
IFI	<i>Incremental Fit Index</i>
IGI	Índice Global de Inovação
IPAT	Impactos da População, Afluência e Tecnologia
KMO	Kaiser-Meyer-Olkin
NFI	<i>Normed Fit Index</i>
ODMs	Objetivos de Desenvolvimento do Milênio
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
P&D	Pesquisa e desenvolvimento
PCA	Análise de componentes principais
PIB	Produto Interno Bruto
RMSEA	<i>Root Mean Square Error of Approximation</i>
RMSR	<i>Root Mean Square Residual</i>
SEM	Análise de equações estruturais
TLI	<i>Tucker-Lewis Index</i>
WIPO	Organização Mundial da Propriedade Intelectual

## Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>Objetivos</b>	<b>15</b>
2.1	Objetivo geral	15
2.2	Objetivos específicos	15
<b>3</b>	<b>Justificativa</b>	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>Limitações da Pesquisa</b>	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>Referencial teórico</b>	<b>19</b>
5.1	Desenvolvimento sustentável e performance ambiental	19
5.2	Índice de Performance Ambiental ( <i>Environmental performance index</i> – EPI)	20
5.3	Desenvolvimento econômico e performance ambiental	23
5.4	Inovação e performance ambiental	24
5.5	Performance ambiental, inovação e desenvolvimento econômico	25
<b>6</b>	<b>Metodologia da Pesquisa</b>	<b>27</b>
6.1	Coleta de dados	27
6.2	Seleção da amostra	27
6.3	Análise estatística	27
<b>Capítulo I - Relação entre performance ambiental, inovação e desenvolvimento econômico em diferentes países</b>		<b>29</b>
<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>30</b>
<b>2</b>	<b>Referencial teórico</b>	<b>31</b>
2.1	Desenvolvimento sustentável e a performance ambiental	31
2.2	Desenvolvimento econômico e performance ambiental	32
2.3	A inovação e o desenvolvimento econômico	33
2.4	Desenvolvimento econômico, inovação e performance ambiental	34
<b>3</b>	<b>Metodologia</b>	<b>37</b>
3.1	Dados	37
3.2	Periodicidade e escolha da amostra	38
3.3	Teste de raiz unitária – Dickey-Fuller Aumentado (ADF)	38
3.4	Cointegração de Pedroni	40
3.5	Teste de causalidade de Granger	41

<b>4 Resultados e discussões</b> .....	<b>41</b>
<b>5 Considerações finais</b> .....	<b>49</b>
<b>Referências</b> .....	<b>50</b>
<b>Capítulo II - Análise global da relação entre performance ambiental, desenvolvimento econômico e o índice de inovação através da Curva Ambiental de Kuznets</b> .....	<b>63</b>
<b>1 Introdução</b> .....	<b>64</b>
<b>2 Referencial teórico</b> .....	<b>66</b>
2.1 PIB e performance ambiental .....	66
2.2 A inovação e performance ambiental .....	67
2.3 PIB, inovação e performance ambiental .....	69
2.4 Curva Ambiental de Kuznets modificada .....	70
<b>3 Metodologia</b> .....	<b>72</b>
3.1 Variáveis da pesquisa .....	72
3.1.1 Índice de Performance Ambiental (EPI) .....	72
3.1.2 Índice de inovação e desenvolvimento econômico .....	74
3.2 O modelo da Curva Ambiental de Kuznets .....	74
3.3 O modelo da Curva Ambiental de Kuznets modificado .....	75
<b>4 Resultados e discussões</b> .....	<b>76</b>
<b>5 Considerações finais</b> .....	<b>88</b>
<b>Referências</b> .....	<b>89</b>
<b>Capítulo III - A relação entre ambiente inovador, desenvolvimento econômico e performance ambiental em diferentes países</b> .....	<b>95</b>
<b>1 Introdução</b> .....	<b>96</b>
<b>2 Referencial teórico</b> .....	<b>97</b>
2.1 Ambiente inovador .....	97
2.2 A influência do ambiente inovador no desenvolvimento econômico .....	98
2.3 Desenvolvimento econômico e performance ambiental .....	100
2.4 Ambiente inovador e performance ambiental .....	102
<b>3 Metodologia</b> .....	<b>103</b>
3.1 Coleta e análise de dados .....	103
3.2 Modelo teórico proposto .....	104

3.3 Validação dos construtos e do modelo .....	105
<b>4 Resultados e discussões .....</b>	<b>106</b>
<b>5 Considerações finais .....</b>	<b>114</b>
<b>Referências .....</b>	<b>116</b>
<b>7 Considerações finais gerais .....</b>	<b>123</b>
<b>Referências .....</b>	<b>127</b>

## 1 Introdução

No cenário contemporâneo, a expansão das atividades econômicas representa um dos maiores desafios globais enfrentados pela humanidade, com implicações significativas na poluição ambiental e, por consequência, na performance ambiental de cada nação (DKHILI, 2019; KHAN; WEILI; KHAN, 2021; SHARIF, 2023). Sharif (2023) argumenta que o desenvolvimento econômico está intrinsecamente ligado aos recursos ecológicos e à capacidade de fornecer serviços ecossistêmicos essenciais para a sustentabilidade da vida.

O contínuo crescimento das atividades econômicas resulta em um aumento no consumo de energia, levando a crescentes emissões de gases de efeito estufa e comprometendo a integridade da performance ambiental (KHAN *et al.*, 2023; SHARIF, 2023). Khan *et al.* (2023) destacam que, desde os primórdios da industrialização, o crescimento econômico tem sido acompanhado por um consumo intensivo de energia e altas emissões de dióxido de carbono, resultando em aumento da poluição e redução da performance ambiental, principalmente nas fases iniciais do desenvolvimento econômico.

O Swiss Re Institute (2021) alerta que o crescimento econômico associado ao consumo de energia na produção resulta em emissões de dióxido de carbono, com implicações substanciais para a qualidade ambiental. Previsões de mudanças climáticas indicam uma perda global de quase 18% do PIB devido aos impactos econômicos decorrentes dessas alterações, afetando especialmente as economias asiáticas.

Essa realidade ressalta a possibilidade de surgimento de desigualdades de renda, que podem afetar as atividades econômicas e, conseqüentemente, a performance ambiental dos países (KHAN *et al.*, 2023). No entanto, medidas imediatas podem minimizar esses efeitos, em que a implementação de práticas e tecnologias inovadoras emerge como um antídoto para melhorar a performance ambiental, equilibrando o desenvolvimento econômico sustentável e a gestão ambiental eficaz (YANG *et al.*, 2020; YANG; SHAO; FAN, 2021; XU *et al.*, 2021).

Essa capacidade transformadora deriva do fenômeno do transbordamento positivo das atividades inovadoras, que promovem produtos, processos e métodos capazes de mitigar os impactos ambientais negativos (SHARIF, 2023). Assim, dada a complexa interação entre crescimento econômico, performance ambiental e inovação, é crucial compreender a dinâmica subjacente e como essas variáveis podem ser sinergicamente promovidas para alcançar um desenvolvimento sustentável em conformidade com os objetivos da ONU (2023) de preservação do meio ambiente.

Portanto, o presente estudo tem como objetivo principal investigar a relação entre

inovação, performance ambiental e PIB per capita em uma perspectiva comparativa entre países, contribuindo para uma compreensão mais profunda dessa interconexão e suas implicações para o desenvolvimento sustentável.

## 2 Objetivos

No contexto da crescente complexidade das interações entre performance ambiental, inovação e desenvolvimento econômico, esta seção apresenta os objetivos que norteiam o presente estudo. Diante dos desafios contemporâneos decorrentes do aumento das atividades econômicas e suas implicações na performance ambiental (DKHILI, 2019; KHAN; WEILI; KHAN, 2021; SHARIF, 2023), busca-se objetivo geral, como segue.

### 2.1 Objetivo geral

Analisar a relação existente entre performance ambiental, a inovação e o desenvolvimento econômico em nível global.

### 2.2 Objetivos específicos

Com o intuito de alcançar o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) identificar as relações de causa e efeito entre performance ambiental, a inovação e o desenvolvimento econômico;
- b) identificar como as variáveis – PIB per capita, inovação tecnológica e performance ambiental - se comportam conjuntamente, sob a ótica da Curva Ambiental de Kuznets;
- c) compreender a relação a relação existente entre o ambiente inovador o desenvolvimento econômico e a performance ambiental em nível global;
- d) investigar influência da educação e do investimento em Pesquisa e Desenvolvimento no desenvolvimento econômico e na melhoria da performance ambiental dos países.

### 3 Justificativa

É inegável que o desenvolvimento econômico não pode ser dissociado das questões ambientais (SHARIF, 2023). O autor argumenta que os recursos ecológicos estão intrinsecamente ligados à capacidade de fornecer serviços ecossistêmicos essenciais. O desafio reside na busca de um equilíbrio entre o crescimento econômico, a qualidade ambiental e a inovação, com o objetivo de traçar uma trajetória de desenvolvimento sustentável (SANTOS, 2022). Logo, compreender as interações intrincadas entre as variáveis desta pesquisa (performance ambiental, inovação e PIB per capita) é essencial para orientar políticas públicas, estratégias empresariais e ações individuais que visem a um futuro onde o crescimento econômico não comprometa irreversivelmente o ambiente.

Nesse contexto, o presente estudo encontra sua justificativa sólida e atual. Investigar as relações causais entre a performance ambiental, a inovação e o desenvolvimento econômico, em diferentes países é uma abordagem fundamental para orientar ações voltadas para o desenvolvimento de uma sociedade mais equilibrada e resiliente. A compreensão das dinâmicas subjacentes que podem levar a um equilíbrio sinérgico entre essas variáveis é crucial para a criação de soluções que buscam aprimorar a performance ambiental sem comprometer o progresso econômico.

Além disso, a análise da relação entre as variáveis sob a perspectiva da Curva Ambiental de Kuznets oferece uma abordagem inovadora e crucial para entender como as economias podem evoluir ao longo do tempo, atingindo um ponto de inversão aonde o crescimento econômico conduz a melhorias na performance ambiental. A implementação de práticas e tecnologias inovadoras, capazes de reduzir os impactos ambientais negativos, surge como um caminho promissor para alcançar esse objetivo (YANG *et al.*, 2020; YANG; SHAO; FAN, 2021; XU *et al.*, 2021), tornando essencial explorar essa relação sob uma lente de análise temporal.

Assim, o estudo proposto não apenas contribui para o avanço do conhecimento acadêmico sobre as interações complexas entre desenvolvimento econômico, performance ambiental e inovação, mas também possui implicações práticas significativas para políticas de sustentabilidade, tomadas de decisão empresariais e ações individuais voltadas para a construção de um futuro mais equilibrado e resiliente.

#### **4 Limitações da pesquisa**

As limitações inerentes a esta dissertação exigem uma análise minuciosa para uma compreensão completa das conclusões apresentadas. Em primeiro lugar, é crucial reconhecer que a qualidade e disponibilidade dos dados utilizados podem ter influenciado a precisão das análises realizadas. Diferenças na confiabilidade e abrangência dos dados entre os países analisados podem ter impactado diretamente os resultados, introduzindo incertezas que devem ser consideradas ao interpretar os achados.

Além disso, os resultados obtidos nesta pesquisa podem não ser diretamente extrapoláveis para todas as regiões devido à natureza específica da amostra e das variáveis consideradas. Esta limitação pode restringir a generalização das conclusões, especialmente quando se consideram contextos regionais distintos e suas particularidades.

Outros fatores externos relevantes, como questões políticas, sociais e culturais, não foram completamente abordados na análise. A falta de inclusão desses fatores pode limitar a compreensão das dinâmicas subjacentes que influenciam as interações entre inovação, desenvolvimento econômico e performance ambiental, destacando a necessidade de pesquisas futuras que considerem esses aspectos de forma mais abrangente.

Apesar da utilização de métodos estatísticos robustos empregados neste estudo, é importante reconhecer que existem limitações inerentes a essas técnicas. Variações na interpretação dos resultados podem surgir devido a diferentes abordagens metodológicas, enfatizando a necessidade de uma análise crítica e cuidadosa dos achados.

A seleção da amostra e os métodos de coleta de dados podem introduzir viés nos resultados, comprometendo a representatividade e generalização das conclusões. Este viés pode decorrer de escolhas específicas durante o processo de amostragem ou de limitações na coleta de dados, sublinhando a importância de abordar essas questões de forma transparente.

O escopo temporal desta pesquisa concentrou-se em um período específico, o que pode limitar a compreensão das tendências ao longo do tempo e a identificação de mudanças significativas em longo prazo. Mudanças temporais nas relações entre as variáveis podem não ter sido totalmente capturadas, sugerindo a necessidade de estudos longitudinais para uma análise mais abrangente.

Por fim, as limitações de acesso a fontes de dados específicas podem ter restringido a profundidade da análise e a amplitude das discussões realizadas nesta dissertação. Restrições no acesso a determinadas fontes de dados podem ter limitado a capacidade de explorar

determinados aspectos das relações entre inovação, desenvolvimento econômico e performance ambiental, destacando a importância de garantir a acessibilidade e disponibilidade de dados para pesquisas futuras.

## 5 Referencial teórico

Essa seção explora a interação entre desenvolvimento sustentável, performance ambiental, desenvolvimento econômico e inovação. Na primeira parte, o desenvolvimento sustentável é definido como uma busca por equidade entre gerações, sustentada pelo uso responsável de recursos, enquanto o indicador *Environmental Performance Index* (EPI) é destacado na segunda parte.

O terceiro subcapítulo aborda a relação complexa entre crescimento econômico e qualidade ambiental. A interligação entre inovação e performance ambiental é explorada no subcapítulo 4.4, enfatizando a capacidade de inovação para reduzir impactos ambientais. O último subcapítulo integra os conceitos anteriores, ressaltando a importância da evolução tecnológica para mitigar impactos ambientais e promover crescimento econômico sustentável, enquanto considera as interações intrincadas entre os três elementos.

### 5.1 Desenvolvimento sustentável e performance ambiental

O conceito de desenvolvimento sustentável (DS) ganha cada vez mais amplitude e, em sua essência mais precisa, abarca a contínua preservação da existência humana em todos os cantos do mundo (SANTOS, 2022). Ademais, conforme as reflexões de Biermann *et al.* (2022), Ostergaard (2022), Leal Filho, Salvia e Eustachio (2022) e Gyimah.; Appiah e Appiagyei (2023), o desenvolvimento sustentável representa uma busca pela equidade, tanto entre gerações quanto dentro delas, e envolve o uso sustentável dos recursos ambientais para sustentar tanto o consumo humano quanto o desenvolvimento econômico.

Nesse mesmo contexto, é considerado sustentável quando o crescimento econômico e o progresso social estão entrelaçados, de acordo com Hussain, Rigoni e Orij (2018) e Npytaliuk (2018). Trata-se de uma produção alinhada à capacidade dos ecossistemas, satisfazendo as necessidades da geração presente de maneira justa, sem comprometer os recursos naturais, com consideração pelas necessidades das gerações vindouras, como indicado por Bhalaji *et al.* (2020).

O desenvolvimento sustentável transcende a teoria, demandando ação efetiva e engajamento de diversos setores da sociedade para efetuar mudanças reais e duradouras. Reconhecendo essa necessidade e a carência de métricas quantitativas, em 2006, o *Yale Center for Environmental Law and Policy* da Universidade Yale e o *Columbia University's Center for International Earth Science Information Network* (CIESIN), em colaboração com

o Fórum Econômico Mundial, conceberam um indicador-piloto conhecido como *Environmental Performance Index* (EPI) ou Índice de Performance Ambiental.

Atualmente, várias nações adotam esse indicador para quantificar e promover o desenvolvimento sustentável, utilizando dados ambientais como suporte para avaliar as condições e tendências nesse âmbito e facilitar a comunicação entre diferentes grupos envolvidos na formulação de políticas governamentais (BOGGIA *et al.* 2018).

Todavia, uma baixa performance ambiental indica um possível déficit no alcance de um desenvolvimento sustentável, como destacam Srebotnjak (2014), Wang, Li e Chen (2019) e Chen, Zhang e Li (2020). Logo, o desafio reside na criação de estratégias e políticas que possibilitem a integração de populações em um mundo diversificado e sustentável, uma abordagem que Khan *et al.* (2023) sugere, englobando uma visão interconectada das variáveis impactantes na performance e suas complexas interdependências funcionais (SPALIVIERO *et al.*, 2019).

Nesta seção introdutória, explora-se o conceito de desenvolvimento sustentável (DS) como uma busca pela equidade entre gerações, dependente do uso sustentável dos recursos ambientais para conciliar crescimento econômico e progresso social. Discute-se a relevância da performance ambiental como um indicador-chave desse desenvolvimento, ressaltando que a baixa performance pode indicar um desequilíbrio no caminho rumo à sustentabilidade. Para abordar esses desafios, destaca-se o papel do *Environmental Performance Index* (EPI) como um indicador quantitativo utilizado por diversas nações para avaliar e promover o desenvolvimento sustentável. Diante dessa base, o estudo prossegue com uma análise aprofundada das relações complexas entre desenvolvimento econômico e performance ambiental, como descrito na próxima seção.

## 5.2 Índice de Performance Ambiental (*Environmental performance index* – EPI)

Uma vez que o desenvolvimento sustentável é visto como essencial à continuidade da vida humana e sua abrangência pela esfera social, política, ambiental e econômica, tornou-se muito clara a necessidade da elaboração de indicadores que pudessem medir o quão os países estão sendo sustentáveis e por meio de análises, empreender ações e políticas que objetivem a sustentabilidade (SREBOTNJAK, 2014).

Para Bell e Deubzer (2018), a gestão ambiental eficaz não é possível sem monitorar as condições ecológicas e medir os efeitos das respostas políticas às questões ambientais. Assim, a fim de equalizar o crescimento econômico, praticar a democracia, desenvolver políticas

governamentais e promover o bem-estar social, uma equipe de pesquisadores e especialistas em *políticas do Yale Center for Environmental Law and Policy* (Yale University) e do *Columbia University's Center for International Earth Science Information Network* (CIESIN) em colaboração com o Fórum Econômico Mundial desenvolveram medidas que delineassem os resultados, um indicador piloto o chamado *Environmental Performance Index* (EPI), que em português é traduzido por: Índice de Desempenho Ambiental.

Originalmente desenvolvido para suportar e complementar os indicadores ambientais dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODMs) das Nações Unidas, o EPI foi adaptado como medidas de tratados e convenções ambientais globais, como a Convenção sobre Diversidade Biológica e a Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), a fim de promover o desenvolvimento humano usando indicadores específicos de metas com prazos (SREBOTNJAK, 2014).

Assim, o relatório de 2022, o qual dará suporte a este trabalho (vide Figura 1), fornece um resumo baseado em dados do estado da sustentabilidade em todo o mundo, usando 40 indicadores de desempenho em 11 categorias de questões, classificando 180 países de acordo com sua performance ambiental por meio de seus desempenhos de mudança climática, saúde ambiental e vitalidade do ecossistema (EPI, 2022).

Environmental Performance Indicator (EPI)					
Ecosystem Vitality 42%		Environmental Health 20%			
Biodiversity & Habitat 18%	Biome Protect (Natic)	4,00%	Waste Management 2%	Ocean Plastics	0,50%
	Biome Protect (Glob)	4,00%		Recycling	0,50%
	Marine Protect Area	4,00%		Solid Waste	1,00%
	PARI	2,50%	Heavy Metals 2%	Lead	2,00%
	BHI	1,50%	Sanitation & Drinking Water 5%	Drinking Water	3,00%
	SPI	1,50%		Sanitation	2,00%
	SHI	0,50%	Air Quality 11%	VOCs	0,20%
Ecosystem Services 8%	Tree Cover Loss	6,00%		CO	0,20%
	Grassland Loss	1,00%		SO2	0,20%
	Wetland Loss	1,00%		Nox	0,50%
Fisheries 5%	Stock Status	1,80%		O3	0,50%
	MTI	1,80%		Household Solid Fuels	4,20%
	Trawling & Dredging	1,40%	PM25	5,20%	
Acid Rain 4%	SO2 Trend	2,00%	Climate Change 38%		
	Nox Trend	2,00%	Climate Change Mitigation 38%	Co2	13,80%
Agriculture 4%	SNMI	2,00%		CH4	3%
	Pesticides	2,00%		N2O	1%
Water Resources 3%	Wastewater	3,00%		F-Gas	0,70%
				Black Carbon	1,00%
				Projected GHG Emissions ir	13,80%
				Land cover	1,50%
			GHG Int.	1,50%	
			GHG/pop.	1,00%	

Figura 1 – Framework EPI.  
Fonte: Adaptado de EPI report, 2022.

A Figura 1 é um framework que explica a composição do EPI. Nela pode-se identificar que na avaliação de performance 42% diz respeito a vitalidade do ecossistema do país analisado, seguido de 38% das mudanças climáticas e por fim 20% da saúde ambiental, resultando em uma medida em escala nacional de quão próximos os países estão das metas de políticas ambientais estabelecidas. Apresenta ainda, um *scorecard* que destaca líderes e retardatários na performance ambiental e fornecendo orientação prática para países que aspiram avançar em direção a um futuro sustentável.

O conceito de desenvolvimento sustentável tem instigado estudos que exploram a interseção entre crescimento econômico e inovação e seus efeitos no meio ambiente. Nesse sentido diversas pesquisas tem utilizado o Índice de Performance Ambiental para tratar deste intrincado tema (ANSER; ALHARTHI; AZIZ, 2020; KHAN; WEILI; KHAN, 2021; KOENGGAN; FUINHAS; SILVA, 2021; SHITTU *et al.*, 2021; ADEEL-FAROOQ; RAJI; QAMRI, 2023).

A pesquisa de Adeel-Farooq, Raji e Qamri (2023) destaca o papel do desenvolvimento financeiro no desempenho ambiental em nações da ASEAN. Eles utilizaram o EPI para avaliar o desempenho ambiental e descobriram que o desenvolvimento financeiro tem uma influência positiva. No entanto, alertam para os impactos adversos da urbanização e do aumento do consumo de energia no desempenho ambiental, ressaltando a importância de estratégias sustentáveis.

No estudo de Shittu *et al.* (2021), a aplicação do EPI é fundamental para explorar como os recursos naturais, o crescimento econômico e a segurança energética afetam o meio ambiente em países asiáticos. Encontraram uma ligação entre rentabilidade dos recursos naturais e pegada ecológica, com crescimento populacional associado à degradação ambiental. Contrariamente à Curva Ambiental de Kuznets, a pesquisa enfatiza nuances complexas.

Anser, Alharthi e Aziz (2020) abordam o papel da inovação e do consumo de energia na redução das emissões de CO<sub>2</sub>, utilizando análises de envoltória de dados (DEA). Aqui, a aplicação do EPI é um indicador-chave para medir o desempenho ambiental. A pesquisa destaca que a inovação tecnológica e a adoção de energias renováveis estão ligadas à redução das emissões, destacando a importância de abordagens sustentáveis.

A iniciativa *Belt and Road* é explorada em outro estudo, revelando uma relação intrincada entre inovação, crescimento econômico e emissões de CO<sub>2</sub>. O papel do EPI é claro ao apontar para a necessidade de adaptação de políticas em diferentes contextos. Inovação e tecnologia moldam o cenário empresarial, evidenciando que abraçar o empreendedorismo

sustentável pode redefinir os limites da curva EKC (KHAN; WEILI; KHAN, 2021).

A abordagem da EKC é enriquecida por um terceiro estudo, onde se explora a influência do empreendedorismo e da tecnologia nas emissões de CO<sub>2</sub>. A complexidade é evidente com padrões não lineares demonstrando a importância de estratégias bem calibradas. Nesse contexto, o EPI emerge como uma métrica essencial para avaliar a performance ambiental e guiar decisões empresariais (KOENGGAN; FUINHAS; SILVA, 2021).

Em síntese, a necessidade de indicadores para avaliar a sustentabilidade e orientar políticas eficazes é manifesta (SREBOTNJAK, 2014). A gestão ambiental eficaz é intrinsecamente ligada à avaliação das condições ecológicas e aos impactos das políticas (BELL e DEUBZER, 2018). Nesse contexto, o *Environmental Performance Index* (EPI), emerge como um valioso instrumento que não apenas complementa indicadores globais, mas também fomenta o desenvolvimento humano sustentável (SREBOTNJAK, 2014).

Ao classificar 180 países com base em 40 indicadores, destacando mudança climática, saúde ambiental e vitalidade do ecossistema (EPI, 2022), este sistema fornece um panorama abrangente do estado da sustentabilidade global. Diante disso, adentra-se na seção subsequente, explorando não apenas as aplicações desse índice, mas também as valiosas oportunidades que ele oferece para orientar estratégias tanto no desenvolvimento econômico quanto na busca por uma performance ambiental aprimorada.

### 5.3 Desenvolvimento econômico e performance ambiental

À medida que as atividades econômicas se expandem, torna-se evidente o impacto direto do crescimento econômico no consumo energético, resultando em um aumento nas emissões de gases de efeito estufa que prejudicam o meio ambiente e, conseqüentemente, afetam a performance ambiental (SHARIF, 2023). Esse elo intrincado entre desenvolvimento econômico e qualidade ambiental tem despertado um interesse considerável nas pesquisas atuais, explorando as interconexões complexas e as dinâmicas subjacentes que moldam essa relação multifacetada.

As interrelações entre o crescimento econômico e a performance ambiental são caracterizadas por uma complexidade que incorpora, entre outros fatores, o consumo de energia e a desigualdade de renda. Pesquisadores como Kasperowicz (2015), investigaram essa dinâmica em 18 países membros da União Europeia durante o período de 1995 a 2012, revelando uma relação de longo prazo entre o PIB e a performance ambiental, na qual o crescimento econômico tendeu a impactar negativamente à qualidade do ambiente.

No contexto asiático, Khan e Yahong (2021) analisaram a relação entre PIB e performance ambiental de 2006 a 2017, identificando uma ligação causal entre performance ambiental e desenvolvimento econômico. Além disso, descobriram que o investimento estrangeiro direto, a densidade populacional e o acesso à eletricidade desempenham um papel na distribuição de renda e também influenciam a qualidade ambiental de maneira adversa.

Contrariamente a essa perspectiva, Apergis e García (2019) sugeriram que o aumento do PIB pode resultar em uma melhoria na performance ambiental, influenciando positivamente o perfil da sociedade e reduzindo a produção de produtos poluentes. Eles observaram que, ao direcionar os fatores de produção para produtos tecnológicos, as nações reduzem suas emissões de carbono, indicando uma relação complexa entre o PIB e a performance ambiental que varia de acordo com as características nacionais e a interação de variáveis adicionais (ZHANG; YUAN; WANG, 2020).

Diversos estudos indicam uma relação inicialmente positiva entre o crescimento econômico e a degradação ambiental. No entanto, essa relação pode sofrer uma inversão em estágios mais avançados de desenvolvimento, levando a uma melhoria na performance ambiental. À medida que as técnicas de produção se tornam mais avançadas e limpas com o progresso da tecnologia, o consumo de energia é reduzido, resultando em emissões menores de CO<sub>2</sub> (GROSSMANN; KRUEGER, 1991; SHAHBAZ; NASIR; ROUBAND, 2018). Dessa forma, as tecnologias empregadas nos processos produtivos desempenham um papel crucial no controle das emissões de CO<sub>2</sub> e têm um impacto direto na performance ambiental (BALSALOBRE-LORENTE *et al.*, 2019). Nesse contexto, a próxima seção expandirá ainda mais essa discussão, explorando como a inovação pode ser um fator-chave na busca por um desenvolvimento sustentável, alinhando-se à busca de cada nação pela performance ambiental otimizada.

#### 5.4 Inovação e performance ambiental

A inovação não se limita exclusivamente à pesquisa e desenvolvimento (P&D) ou à introdução de novas tecnologias. Ela engloba melhorias graduais em produtos ou processos existentes, bem como transformações radicais e disruptivas que trazem mudanças profundas (OECD/EUROSTAT, 2018).

Logo, como constatado por diversas pesquisas como as de Horbach e Rammer (2019), Zhang, Yuan e Wang (2020), Wicaksana (2022), enaltecem Zhang, Yuan e Wang (2020) que a capacidade de inovação de um país contribui para a redução do uso de recursos naturais,

minimização de resíduos e diminuição das emissões de gases de efeito estufa, melhorando a performance ambiental. Essa capacidade desempenha um papel fundamental na relação entre o crescimento econômico e a performance ambiental, como explica Mensah *et al.* (2018).

A interligação entre inovação e performance ambiental é respaldada por evidências empíricas que demonstram como a adoção de práticas inovadoras pode catalisar a redução dos impactos ambientais negativos e impulsionar a performance ambiental. Estudos como os de Horbach e Rammer (2019), que realizaram uma revisão sistemática da literatura focada no setor manufatureiro e examinaram a relação entre inovação e eficiência energética em indústrias espanholas, corroboram a ideia de que empresas que adotam inovações sustentáveis tendem a alcançar melhores resultados ambientais.

Mughal *et al.* (2021), ao analisarem a relação causal entre o crescimento energético e as emissões de CO<sub>2</sub>, reforçaram a relação bidirecional entre crescimento econômico e performance ambiental. Essa dinâmica aponta para a possibilidade de, por meio de inovações, equilibrar a expansão econômica com a preservação ambiental.

Além disso, estudos de autores como os de Acemoglu (2009), Castellacci e Natera (2015), Paiva *et al.* (2018), Malerba e McKelvey (2019), enfatizam que a inovação é fundamental para o desenvolvimento econômico e social. As abordagens que promovem incentivos à inovação, como subsídios, incentivos fiscais e regulamentações ambientais, não só estimulam a inovação, mas também proporcionam vantagens competitivas para as empresas. Isso sugere que a inovação não se limita apenas a avanços tecnológicos de impacto ambiental, mas também engloba transformações nos processos de gestão, nas estratégias organizacionais e no PIB (SÁEZ-MARTINEZ; GARCIA-GRANERO; TORRENT-SELLENS, 2020).

## 5.5 Performance ambiental, inovação e desenvolvimento econômico

No âmago das preocupações contemporâneas reside uma complexa teia de interações entre o desenvolvimento econômico, a performance ambiental e a inovação. Este campo de pesquisa tem sido extensivamente explorado por estudiosos, como ressaltado por Carayannis; Campbell; Rehman (2015) e Wang *et al.* (2017), lançando luz sobre as interconexões que moldam o mundo em constante evolução.

Nos recentes anos, uma análise minuciosa da intrincada relação entre essas variáveis ganhou considerável destaque. Isso é evidenciado pelas investigações conduzidas por pesquisadores, a exemplo de Zafar *et al.* (2020), Mughal *et al.* (2021), Dasgupta (2021),

Simões (2021), Fakher *et al.* (2023) e Gao e Fan (2023). Esses estudos destacam não apenas os desafios que permeiam a busca por um equilíbrio entre progresso econômico e preservação ambiental, mas também as oportunidades inerentes à formulação de abordagens integradas que transcendem tradicionais fronteiras disciplinares. Neste contexto, explorar a interface entre esses elementos assume um papel de destaque na definição de políticas informadas e na promoção de um futuro sustentável.

Em meio a esse contexto dinâmico, a evolução tecnológica emerge como um fator-chave, com resultados que se manifestam em fases distintas. Embora a adoção inicial de tecnologia possa estar associada a um crescimento econômico que, por vezes, intensifica a degradação ambiental, estudos exemplificados por Luo *et al.* (2017) e Paramati, Alam e Chen (2016) indicam que o progresso tecnológico subsequente tende a atenuar a intensidade desses efeitos negativos, culminando, com o tempo, na redução da degradação ambiental.

A aplicação de abordagens inovadoras desempenha, portanto, um papel central na transformação desse cenário. Tanto empresas quanto sociedades podem atravessar um ponto de inflexão crucial, iniciando uma trajetória de mitigação dos impactos ambientais. Contribuições proeminentes de Boons (2013) e Zhang, Yuan e Wang (2020) sublinham a capacidade das inovações em impulsionar essa transformação.

Além disso, Balsalobre-Lorente *et al.* (2019) identificam um impacto positivo da inovação, não apenas promovendo a melhoria ambiental, mas também estimulando um crescimento econômico sustentável por meio da disseminação de tecnologias eco-amigáveis e melhores práticas em países em desenvolvimento. Shahbaz *et al.* (2013) realça como o conhecimento e o desenvolvimento tecnológico podem levar à adoção de práticas mais sustentáveis e ecologicamente amigáveis.

No âmbito dessa complexidade multifacetada, é fundamental reconhecer as interações causais intrincadas entre desenvolvimento econômico, performance ambiental e inovação. Buscar um equilíbrio harmônico entre esses componentes é imperativo para nutrir uma sociedade resiliente e sustentável.

## 6 Metodologia da pesquisa

### 6.1 Coleta de dados

Os dados para a dissertação foram coletados a partir de três artigos distintos, cada um investigando diferentes aspectos das relações entre performance ambiental, inovação e desenvolvimento econômico.

O primeiro artigo utilizou o Índice de Performance Ambiental (EPI), o Índice Global de Inovação (IGI) e o Produto Interno Bruto (PIB) per capita para investigar as relações entre essas variáveis ao longo do período de 2008 a 2022.

No segundo artigo, também foram utilizados o EPI, o IGI e o PIB per capita, com foco na aplicação do modelo da Curva Ambiental de Kuznets para analisar a relação entre performance ambiental, inovação e crescimento econômico.

Já o terceiro artigo empregou o IGI, investimento em pesquisa e desenvolvimento (P&D), expectativa de vida escolar e PIB per capita para examinar a relação entre ambiente inovador, desenvolvimento econômico e performance ambiental, focando no ano de 2022.

### 6.2 Seleção da amostra

Cada artigo teve sua própria amostra de países selecionados com base em critérios específicos, como relevância geográfica e disponibilidade de dados.

O primeiro e segundo artigos analisaram uma amostra de 102 países, enquanto o terceiro artigo utilizou uma amostra menor de 65 países, todos selecionados com base na consistência e disponibilidade dos dados necessários.

### 6.3 Análise estatística

No capítulo 1, uma análise de dados em painéis foi conduzida, empregando-se a seguinte estatística descritiva:

- a) Teste de Raiz Unitária (Dickey-Fuller Aumentado): aplicado o teste ADF em painel para verificar se as séries temporais de performance ambiental, inovação e desenvolvimento econômico eram ou não estacionárias.
- b) Teste de Cointegração de Pedroni: utilizado para verificar a existência de cointegração entre as séries estacionárias resultantes da primeira etapa do teste

ADF. Testados três modelos determinísticos: sem tendência e sem intercepto, com intercepto e com intercepto e tendência.

- c) Teste de Causalidade de Granger: realizado para examinar a relação de causalidade entre as variáveis, usando a estatística F para testar a hipótese conjunta de causalidade.

Já, para o capítulo 2, além dos testes de raiz unitária e cointegração, foram aplicados modelos econométricos para a Curva Ambiental de Kuznets, incluindo equações quadráticas e cúbicas para examinar a relação entre performance ambiental, inovação e crescimento econômico.

Por fim, para o capítulo 3, a análise de equações estruturais (SEM) foi utilizada para validar os construtos e o modelo proposto, com ênfase na unidimensionalidade dos construtos, utilizando o alfa de Cronbach e o índice de confiabilidade Kaiser-Meyer-Olkin (KMO). A significância dos coeficientes estimados foi avaliada individualmente para verificar a influência de cada variável no modelo proposto. Tais análises incluíram testes de adequação de modelo como a razão Qui-quadrado, GFI, CFI, TLI, IFI e RMSEA, conforme recomendado pelos autores de referência.

## Capítulo I

### Relação entre performance ambiental, inovação e desenvolvimento econômico em diferentes países

**Resumo:** Este artigo tem como objetivo analisar a relação de causa e efeito entre o PIB per capita, o índice de inovação e o desempenho ambiental de 102 países de 2008 a 2022. O estudo incluiu países de vários continentes, proporcionando uma perspectiva global sobre a análise, abrangendo aproximadamente 61% da população mundial. Estatísticas descritivas revelaram um desempenho ambiental moderado, com variabilidade significativa entre os países. O PIB per capita apresentou disparidades consideráveis, refletindo desigualdades econômicas. Da mesma forma, o índice de inovação mostrou níveis moderados com variação substancial. Países europeus nórdicos demonstraram um desempenho superior tanto nos índices ambientais quanto de inovação, enquanto resultados mais fracos foram evidentes em nações africanas e sul-asiáticas.

Os testes de cointegração indicaram uma relação de equilíbrio de longo prazo entre as variáveis analisadas, corroborando descobertas anteriores de relações causais. Testes de causalidade de Granger revelaram causalidade bidirecional entre o desempenho ambiental e a inovação, assim como entre o desempenho ambiental e o PIB per capita. Essas relações persistiram ao longo de múltiplos biênios, enfatizando sua complexidade e interdependência.

O estudo destaca a importância de equilibrar o desenvolvimento econômico, a inovação e a sustentabilidade ambiental. Sugere que promover o desenvolvimento sustentável requer estratégias abrangentes considerando dimensões sociais, econômicas e ambientais. Ao integrar esses fatores, formuladores de políticas e empresas podem trabalhar rumo a um futuro mais sustentável, beneficiando as gerações atuais e futuras. No entanto, o estudo reconhece limitações e enfatiza a necessidade de pesquisas adicionais para explorar fatores influenciadores adicionais.

**Palavras-chave:** Dados em painéis. Relação causal. Sustentabilidade. Competitividade. Crescimento econômico.

**Abstract:** This article aims to analyze the cause-and-effect relationship between per capita GDP, innovation index, and environmental performance of 102 countries from 2008 to 2022. The study included countries from various continents, providing a global perspective on the analysis, covering approximately 61% of the world's population. Descriptive statistics revealed moderate environmental performance, with significant variability across countries. Per capita GDP exhibited considerable disparity, reflecting economic inequalities. Similarly, the innovation index showed moderate levels with substantial variation. Nordic European countries demonstrated superior performance in both environmental and innovation indices, while poorer results were evident in African and South Asian nations. Cointegration tests indicated a long-term equilibrium relationship among the analyzed variables, supporting previous findings of causal relationships. Granger causality tests revealed bidirectional causality between environmental performance and innovation, as well as between environmental performance and GDP per capita. These relationships persisted over multiple biennia, emphasizing their complexity and interdependence. The study underscores the importance of balancing economic development, innovation, and environmental sustainability. It suggests that promoting sustainable development requires comprehensive strategies considering social, economic, and environmental dimensions. By integrating these factors, policymakers and businesses can work towards a more sustainable future, benefiting

current and future generations. However, the study acknowledges limitations and emphasizes the need for further research to explore additional influencing factors.

**Keywords:** Panel data. Causal relationships. Environmental performance. Innovation. Economic development.

## 1 Introdução

O processo contínuo de desenvolvimento econômico, juntamente com as transformações nos estilos de vida, modos de produção e padrões de consumo, tem gerado impactos ambientais substanciais (BENGTSSON *et al.*, 2018). Nesse contexto, a busca por soluções inovadoras que possam efetivamente melhorar a qualidade ambiental assume um caráter de urgência (SKENE E MURRAY, 2015).

A inovação emerge como uma peça fundamental nessa equação, com o potencial de moldar a trajetória em direção a uma sociedade verdadeiramente sustentável, conforme argumentam Skene e Murray (2015). Ao otimizar processos produtivos, reduzir o consumo de recursos e introduzir produtos e serviços alinhados às demandas ambientais, a inovação tem a capacidade de mitigar o impacto sobre o meio ambiente (STACHOWIAK; KOWALONEK; KOZLOWSKA, 2020).

Todavia, as interrelações entre desenvolvimento econômico, inovação e performance ambiental são intrincadas (GODECKE, 2012). Essas relações exibem uma natureza multidimensional, na qual a performance ambiental pode tanto influenciar as práticas de inovação quanto ser influenciada por elas, criando um ciclo interdependente que está inextricavelmente ligado ao próprio desenvolvimento econômico.

A complexidade dessa interligação é ressaltada pelas diretrizes da ONU (2023), que destacam a promoção conjunta desses fatores para alcançar um equilíbrio sustentável. A análise causal emerge como uma ferramenta para desvendar essa complexidade, revelando como a capacidade inovativa de cada nação pode moldar sua performance ambiental e vice-versa. Essas revelações fornecem *insights* para a formulação de estratégias empresariais e políticas públicas, promovendo não somente a inovação, mas também o crescimento econômico sustentável.

Com esse cenário em mente, o presente estudo busca uma compreensão aprofundada das relações causais entre performance ambiental, inovação e desenvolvimento econômico em contextos diversos. O objetivo é elucidar como essas relações podem ser orquestradas de

maneira sinérgica para impulsionar o desenvolvimento sustentável em um espectro mais amplo de nações, alinhando-se com a visão traçada pela ONU (2023). Por meio de uma análise meticulosa, espera-se contribuir para a concepção de estratégias coerentes que possam direcionar a inovação e o crescimento econômico rumo a um futuro mais equilibrado e sustentável.

## **2 Referencial teórico**

### **2.1 Desenvolvimento sustentável e a performance ambiental**

O desenvolvimento sustentável (DS) tem se tornado um slogan amplamente difundido no discurso do desenvolvimento contemporâneo (MENSAH, 2019). No entanto, apesar de sua disseminação e da enorme popularidade que conquistou ao longo dos anos, o conceito ainda parece carente de clareza. Apesar disso, a questão do desenvolvimento sustentável gira em torno da busca pela equidade, tanto entre as gerações quanto dentro delas, ancorada essencialmente em três pilares distintos, porém interconectados: meio ambiente, economia e sociedade.

O desenvolvimento sustentável – ou, como muitas vezes é chamado, desafio do século XXI – tem sido objeto de muitos estudos e discussões ao redor do mundo (SACHS *et al.*, 2019; RASOOLIMANESH *et al.*, 2020; KHOSLA *et al.*, 2021; BIERMANN *et al.*, 2022; OSTERGAARD, 2022; LEAL FILHO; SALVIA; EUSTACHIO, 2022; GYIMAH; APPIAH; APPIAGYEI, 2023; KHAN; AHMAD; MAJAVA, 2023; SAHOO; GOSWAMI, 2024; ROMERA; LE BIGOT, 2024; DIETSCHY, 2024).

De acordo com as contribuições de (2010), Folke (2016) e UNDP (2020), o desenvolvimento sustentável busca a gestão eficiente dos recursos naturais, por meio do uso de tecnologias limpas, a fim de promover a redução da pobreza e da desigualdade social. Além disso, esse conceito engloba a promoção da justiça ambiental e o respeito aos direitos humanos, estabelecendo-se como um processo contínuo de transformação em direção a um futuro mais equitativo, próspero e saudável tanto para todas as pessoas quanto para os ecossistemas do nosso planeta.

Conforme apontado por Wiek, Withycombe e Redman (2011), o desenvolvimento sustentável passou por uma evolução significativa, transformando-se de um conceito relativamente simples em um conceito mais abrangente e complexo. Esse conceito envolve mudanças substanciais na maneira de como o homem produz, consome e se relaciona com o

meio ambiente. É nesse contexto que surge o modelo do tripé do desenvolvimento sustentável, também conhecido como *Triple Bottom Line* (3BL): lucros (*profit*), pessoas (*people*) e planeta (*planet*). Esse modelo unifica, em um único conceito, os princípios da prosperidade econômica, qualidade ambiental e justiça social (VIZEU; MENEGHETTI; SEIFERT, 2012; JUMA *et al.*, 2022; DI PASQUALE *et al.*, 2023; YUEN *et al.*, 2023).

No entanto, é importante destacar que a implementação do desenvolvimento sustentável requer um compromisso coletivo, direcionado por metas claras e indicadores adequados. É necessário que as práticas e comportamentos sejam transformados em busca de um futuro mais sustentável (UNDP, 2020). Dessa forma, o desenvolvimento sustentável vai além de um conceito teórico, exigindo ação concreta e engajamento de diversos atores da sociedade para promover uma mudança real e duradoura.

Reconhecendo essa necessidade e a falta de medidas quantitativas para o desenvolvimento sustentável, uma equipe de pesquisadores e especialistas em políticas do Yale Center for Environmental Law and Policy (Yale University) e do Columbia *University's Center for International Earth Science Information Network* (CIESIN), em colaboração com o Fórum Econômico Mundial, desenvolveu em 2006 um indicador piloto chamado *Environmental Performance Index* (EPI), traduzido para o português como Índice de Performance Ambiental. Atualmente, esse indicador é utilizado por vários países para promover e medir o desenvolvimento sustentável (SREBOTNJAK, 2014; WANG; WEI; LI, 2019; OU e JIANG, 2023).

Essa iniciativa visa preencher uma lacuna existente ao fornecer uma ferramenta, o Índice de Performance Ambiental (EPI), usado por vários países para avaliar o desempenho ambiental e orientar políticas mais sustentáveis. Além disso, o EPI tem sido amplamente utilizado por pesquisadores como um indicador de referência para a performance ambiental de cada país (SREBOTNJAK, 2014; GORHAM; LEHMAN; KELLY, 2019; SHITTU *et al.*, 2021; ADEEL-FAROOQ; RAJI; QAMRI, 2022; PUJIATI; FERONICA, 2023; USHAKOV; SHATILA, 2023).

## 2.2 Desenvolvimento econômico e performance ambiental

O desenvolvimento econômico desempenha um papel crucial no progresso humano e social. No entanto, é essencial reconhecer que esse desenvolvimento também pode acarretar impactos negativos significativos e complexos no meio ambiente (NAQVI *et al.*, 2023; KIRIKKALELI, 2020; YANG; SHAO; FAN (2021). Com a crescente demanda por recursos

naturais e a exploração desenfreada desses recursos, os impactos ambientais estão se tornando cada vez mais evidentes (HUSSAIN *et al.*, 2018).

Segundo Söderbaum (2017) e outros pesquisadores como Rockström *et al.* (2017), O'Neill *et al.* (2018), Balsalobre-Lorente *et al.* (2019) e Omotehinse e Tomi, (2022) as atividades econômicas têm impactos negativos no meio ambiente, abrangendo desde a poluição do ar e da água até a mudança climática e a perda de biodiversidade. A degradação ambiental pode ter consequências negativas para o desenvolvimento econômico, como a diminuição da qualidade do ar e da água, afetando a saúde da população e gerando aumentos nos custos de saúde pública (BARBIER, 2017). Esses impactos negativos não apenas afetam a qualidade de vida, mas também podem ter consequências econômicas em longo prazo, como inflação ou redução do PIB per capita.

No entanto, a performance ambiental não deve ser vista como um obstáculo para o desenvolvimento econômico, mas como uma oportunidade para promover a inovação e aumentar a competitividade das empresas (FAKHER, 2023). Investimentos em tecnologias limpas e sustentáveis, conhecidas como inovação verde, podem ter um impacto positivo no meio ambiente, como argumentam Sachs (2015) e Kirikkaleli (2020). Além disso, promover a performance ambiental pode ter impactos positivos no desempenho financeiro das empresas, reduzindo custos operacionais e criando oportunidades de negócios por meio da busca por soluções mais sustentáveis (BARBIER, 2017).

Dessa forma, a proteção e preservação do meio ambiente podem ser vistas como um investimento estratégico para garantir a sustentabilidade do crescimento econômico. Uma abordagem mais integrada entre economia e meio ambiente é essencial para enfrentar os desafios atuais e futuros (DASGUPTA *et al.*, 2021).

### 2.3 A inovação e o desenvolvimento econômico

O Manual de Oslo define inovação como "a implementação de um produto (bem ou serviço) /processo/método novo ou significativamente melhorado" (OECD/EUROSTAT, 2018, p. 32, tradução nossa). A WIPO (2022) complementa, afirmando que a inovação desempenha um papel importante na criação de novos empregos, geração de renda e redução da pobreza.

A inovação não se restringe apenas à pesquisa e desenvolvimento (P&D) ou à introdução de novas tecnologias. Ela abrange melhorias incrementais em produtos ou processos existentes, assim como mudanças radicais e disruptivas que trazem transformações

significativas (OECD/EUROSTAT, 2018). Varella, Medeiros e Silva Junior (2012) e OECD (2018) destacam que, sem inovação, a acumulação de capital seria menos dinâmica e ampliada, pois a inovação é o motor do desenvolvimento econômico e tem sido considerada uma força motriz em longo prazo para o crescimento econômico e o capitalismo (SCHUMPETER, 1939).

Os estudos de Castellacci e Natera (2015), Paramati *et al.* (2016), Kumar e Sundarraj (2018), Malerba e McKelvey (2019) e Kirikkaleli (2020), enfatizam que a inovação é fundamental para o desenvolvimento econômico e social, sendo o principal mecanismo pelo qual o capitalismo se desenvolve. Alguns autores argumentam especificamente que a inovação é um elemento-chave para a competitividade das empresas e dos países, sendo fundamental para impulsionar o crescimento econômico em longo prazo (FAGERBERG; MOWERY; NELSON, 2015; LIMA RUA; MUSIELLO-NETO; ARIAS-OLIVA, 2023).

De acordo com a OECD (2018), a inovação gera impactos positivos na economia, criando oportunidades de emprego, aumentando a produtividade e a competitividade, e contribuindo para a solução de problemas sociais e ambientais. Além disso, a inovação também pode contribuir para o desenvolvimento sustentável, permitindo a criação de produtos e processos mais eficientes e menos prejudiciais ao meio ambiente (VIGLIONI, DE BRITO e CALEGARIO, 2020; KIRIKKALEL, 2020).

No entanto, como destacado por Han (2022), a relação entre inovação e desenvolvimento econômico não é linear e pode ser influenciada por diversos fatores. Isso inclui a capacidade dos países de investir em P&D, disponibilidade de financiamento para inovação, qualidade da educação e formação dos recursos humanos, além da existência de políticas públicas que incentivem a inovação, entre outros. Nesse sentido, Rogers, Singhal e Quinlan (2019) corroboram, afirmando que a inovação pode ser uma importante ferramenta para impulsionar o desenvolvimento econômico, mas é necessário um ambiente propício que permita sua emergência e difusão.

#### 2.4 Desenvolvimento econômico, inovação e performance ambiental

O desenvolvimento econômico, a performance ambiental e a inovação são elementos interconectados e essenciais para promover uma sociedade próspera e equilibrada em longo prazo (CARAYANNIS; CAMPBELL; REHMAN, 2015; UNITED NATIONS, 2020). Neste sentido, a introdução de novas tecnologias e produtos permite que as empresas aumentem sua eficiência, reduzam custos e aumentem os lucros (MALERBA; MCKELVEY, 2019). Além

disso, a inovação abre novos mercados e aumenta a competitividade, impulsionando o crescimento econômico (CARAYANNIS; CAMPBELL; REHMAN, 2015).

A inovação também desempenha um papel importante na busca pelo desenvolvimento sustentável, gerando soluções para desafios econômicos, sociais e ambientais (KIRIKKALELI, 2020; STUSS, 2023). No entanto, a relação entre desenvolvimento econômico, inovação e performance ambiental é complexa e multifacetada (UNITED NATIONS, 2020). As inovações podem ter efeitos positivos ou negativos na performance ambiental, dependendo de sua natureza, escopo, contexto socioeconômico e políticas públicas (BOONS *et al.*, 2013). O desenvolvimento econômico pode levar a problemas ambientais e sociais, mas também pode impulsionar investimentos em pesquisa e desenvolvimento para melhorar a performance ambiental (VIGLIONI, DE BRITO, e CALEGARIO, 2020; KIRIKKALELI, 2020).

Segundo o estudo de Skene e Murray (2015), a inovação é um fator-chave para a sustentabilidade e a melhoria da performance ambiental dos países. Wang *et al.* (2020) encontraram evidências de que políticas de incentivo à inovação contribuem para o aumento do desenvolvimento sustentável. Mensah *et al.* (2018) mostraram que a inovação pode melhorar a performance ambiental, Wu, Wang e Zhang (2018) concluíram que a inovação tem um efeito positivo no desenvolvimento econômico e pode promover a performance ambiental por meio de soluções mais eficientes e menos poluentes. No entanto, é importante ressaltar que o desenvolvimento econômico muitas vezes negligencia as dimensões sociais e ambientais, resultando em desigualdade e danos ambientais irreversíveis (SU; HSU; TIEN, 2018).

A relação entre desenvolvimento econômico, performance ambiental e capacidade de inovação é bidirecional e não linear (DANGELICO; PUJARI, 2010). A Tabela 1 apresenta as principais evidências teóricas e empíricas das relações causais entre inovação, desenvolvimento econômico e performance ambiental de países, destacando a complexidade dessas interações. É necessário buscar um equilíbrio entre os três elementos para promover um desenvolvimento sustentável e uma sociedade equilibrada.

Tabela 1 - Principais estudos sobre a relação causal entre desenvolvimento econômico, inovação e desenvolvimento sustentável

<b>Autores e ano</b>	<b>Variáveis examinadas</b>	<b>Resultados observados</b>
Balsalobre-Lorent <i>et al.</i> (2019)	PIB, energia renovável, recursos naturais, emissões de CO <sub>2</sub>	Aumento no PIB e consumo de recursos naturais contribuem para o aumento das emissões de CO <sub>2</sub>
Ou e Jiang. (2023)	Inovação, PIB e qualidade ambiental	A inovação tem um efeito positivo na qualidade ambiental, mas esse efeito é modulado pelo nível de desenvolvimento econômico dos países.
Cheng <i>et al.</i> (2021)	Inovação tecnológica, poluição ambiental	Inovação tecnológica tem potencial no auxílio à redução da poluição ambiental
Gao <i>et al.</i> (2023)	Inovação verde, PIB e desempenho ambiental	A inovação verde tem um efeito positivo no desempenho ambiental, mas o efeito é limitado pela falta de apoio do governo e pela pressão para maximizar lucros.
Guan <i>et al.</i> (2018)	Crescimento do PIB chinês, intensidade energética, estrutura econômica e população	O crescimento econômico na China impulsionou o aumento das emissões de CO <sub>2</sub> , mas mudanças na economia, tecnologiae políticas de redução de emissões mitigaram impactos negativos.
Guerrero-Lemus <i>et al.</i> (2019)	Inovação verde e crescimento econômico	A inovação verde ajuda no crescimento econômico dos países
Fishman <i>et al.</i> (2020)	Tecnologias de inovação	A inovação é bidirecional, é importante considerar tanto os impactos positivos quanto os negativos da inovação ao avaliar sua relação com o meio ambiente.
Jin; Guo; Deng (2020)	Inovação tecnológica, conservação de energi redução de carbono e poluição ambiental	Inovação tecnológica em conservação de energia e redução de carbono pode ajudar a reduzir a poluição ambiental
Liao <i>et al.</i> (2019)	Inovação, PIB e emissões de CO <sub>2</sub>	A inovação tem um efeito positivo(redução) nas emissões de CO <sub>2</sub> no curto prazo, mas negativo(aumento) no longo prazo. Além disso, a inovação impulsiona o crescimento econômico, que estimula mais inovação.
Nasir; Huyin; Tram (2019)	Inovação, PIB e qualidade ambiental	A inovação tem um efeito positivo na qualidade ambiental, mas este é limitado pela falta de recursos financeiros e tecnológicos em países em desenvolvimento.
Lin; Zhun (2018)	Inovação, PIB, emissões de gases de efeito estufa	A inovação tem um efeito de redução, nas emissões de CO <sub>2</sub> .
Sarkar <i>et al.</i> (2019)	Inovação, PIB e emissões de carbono	A inovação tem um efeito negativo nas emissões de carbono, mas esse efeito é mitigado pelo aumento do PIB e pela falta de políticas ambientais eficazes.
Wu; Wang; Zhang (2020)	Inovação tecnológica, performance ambiental	Inovação tecnológica pode melhorar a performance ambiental dos países.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Observa-se na Tabela 1 que diversos estudos têm analisado a relação complexa entre inovação, desenvolvimento econômico e performance ambiental, revelando descobertas importantes. Por exemplo, Wu, Wang e Zhang (2020) mostraram que a inovação tecnológica pode melhorar a performance ambiental dos países.

Por outro lado, Guan *et al.* (2018) observaram que o crescimento econômico na China impulsionou as emissões de CO<sub>2</sub>, mas políticas e mudanças na economia e tecnologia ajudaram a mitigar esses impactos negativos. Lin e Zhun (2018) constataram que a inovação reduz as emissões de CO<sub>2</sub>.

Por sua vez, Liao *et al.* (2019) identificaram que a inovação pode ter um efeito negativo no longo prazo, aumentando as emissões de CO<sub>2</sub>, embora impulse o crescimento econômico. Nasir, Huyin e Tram (2019) destacaram que a inovação tem um efeito positivo na qualidade ambiental, mas é limitada pela falta de recursos financeiros e tecnológicos em países em desenvolvimento.

Essas descobertas sugerem que a relação entre inovação, desenvolvimento econômico e performance ambiental apresenta fluxos causais bidirecionais. Isso significa que a performance ambiental pode afetar as práticas de inovação, enquanto a inovação impulsionada pelo desenvolvimento econômico pode influenciar a performance ambiental. Além disso, fica evidente que a performance ambiental está intrinsecamente ligada ao desenvolvimento econômico.

Diante desse cenário, é crucial compreender essas relações para embasar a formulação de políticas e práticas que estimulem a inovação e o desenvolvimento econômico de forma simultânea. É fundamental adotar uma abordagem integrada que leve em consideração os impactos ambientais das atividades econômicas, visando alcançar resultados positivos em longo prazo. A compreensão dessas interações proporciona subsídios para promover um equilíbrio adequado entre crescimento econômico, inovação e sustentabilidade ambiental (SMITH, 2018).

### **3 Metodologia**

#### **3.1 Dados**

Esta pesquisa tem como objetivo identificar as relações de causa e efeito entre a performance ambiental, inovação e desenvolvimento econômico em uma amostra de 102 países durante o período de 2008 a 2022. A performance ambiental foi medida utilizando o

Índice de Performance Ambiental (EPI), que foi desenvolvido em 2002 e avalia 40 indicadores de desempenho distribuídos em 11 categorias relacionadas à gestão ambiental. Essas categorias incluem mudanças climáticas, saúde ambiental e vitalidade do ecossistema (EPI, 2022). O EPI fornece um resumo abrangente do estado da sustentabilidade em 180 países, classificando-os de acordo com seu desempenho. Os dados do EPI estão disponíveis a cada dois anos.

O nível de inovação de cada país foi medido usando o Índice Global de Inovação (IGI), que é um dos principais indicadores para avaliar o ambiente de inovação em cada país. O IGI utiliza uma variedade de critérios, como investimentos em P&D, colaboração entre empresas e universidades e propriedade intelectual (WIPO, 2022). Os dados de Inovação foram obtidos no WIPO (2022). O desenvolvimento econômico, por outro lado, foi medido utilizando o Produto Interno Bruto (PIB) per capita, com os dados obtidos no World Data Bank (2023). Para garantir a estacionariedade dos dados, foi calculada a variação percentual do PIB per capita a cada dois anos.

### 3.2 Periodicidade e escolha da amostra

Após estabelecer as fontes de dados, foi definido o período de análise. A escolha desse período levou em consideração a disponibilidade de informações relacionadas ao estudo, uma vez que os principais relatórios utilizados iniciaram suas publicações em 2002 e 2007. Além disso, destaca-se que um dos relatórios é bianual, o que justificou a escolha da faixa de 2008 a 2022 para a análise.

A amostra de países observados foi selecionada a partir da integração dos dados dos relatórios principais, resultando em uma amostra de 102 países com informações em comum para a construção do ensaio estatístico. A escolha dos países levou em consideração critérios como representatividade geográfica e disponibilidade de dados necessários para a análise.

### 3.3 Teste de raiz unitária – Dickey-Fuller Aumentado (ADF)

Um dos testes estatísticos mais relevantes para esta pesquisa é o teste de raiz unitária em painéis proposto por Im, Pesaran e Shin (2003). Esse teste é utilizado para determinar se uma série temporal em painel é estacionária ou não estacionária, sendo crucial para viabilizar a análise estatística adequada.

A estacionariedade de uma série temporal é importante porque afeta o comportamento das variáveis ao longo do tempo. Uma série temporal não estacionária pode apresentar tendência ou sazonalidade significativa, o que compromete as análises estatísticas e a interpretação correta dos resultados (BROCKWELL; DAVIS, 2016).

No presente estudo, foi utilizado o teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF), que é amplamente aplicado para testar a hipótese nula de que uma série temporal é não estacionária. O teste ADF em painel envolve a combinação dos dados de vários países em uma única série temporal. A estatística do teste é calculada usando a fórmula abaixo:

$$Y_{i,t} = \rho_i Y_{i,t-1} + X_{i,t} \delta_i + \epsilon_{i,t} \quad 1 \leq \rho_i \leq 1 \quad (1)$$

Em que,  $X_{it}$  representa as variáveis exógenas no modelo, incluindo quaisquer efeitos fixos ou tendências individuais,  $\rho_i$  são os coeficientes autorregressivos e os erros  $\epsilon$  são assumidos como perturbações peculiares mutuamente independentes. Se  $\rho_i < 1$ ,  $Y_i$  é considerado fracamente estacionário (tendência). Por outro lado, se  $\rho_i = 1$ , então  $Y_i$  contém uma raiz unitária.

O teste ADF em painel foi aplicado para avaliar se as séries temporais de performance ambiental, inovação e desenvolvimento econômico são estacionárias ou não estacionárias. Caso a hipótese nula de não estacionariedade não seja rejeitada, será necessário realizar transformações nos dados a fim de torná-los estacionários. Uma abordagem comum é a diferenciação, que consiste em calcular as diferenças entre observações consecutivas da série temporal.

A diferenciação envolve subtrair o valor de um ponto de dados pelo valor do ponto de dados anterior. Por exemplo, a primeira diferença de uma série temporal  $Y(t)$  pode ser calculada como:  $Y'(t) = Y(t) - Y(t-1)$ . Essa diferença resulta em uma nova série temporal  $Y'$ , que contém as variações entre observações consecutivas. A transformação dos dados por meio da diferenciação teve como objetivo de remover tendências e padrões não estacionários, possibilitando a aplicação do teste de Cointegração de Pedroni e de Causalidade de Granger.

### 3.4 Cointegração de Pedroni

Engle e Granger (1987) afirmam que a combinação linear estacionária é chamada de equação de cointegração e pode ser interpretada como uma relação de equilíbrio de longo prazo entre as variáveis (EVIEWWS, 2022). Os testes de cointegração, como, por exemplo, os de raiz unitária, são utilizados para verificar se os resíduos gerados pela regressão das séries

são estacionários ou não. Eles são usados como um teste preliminar para verificar o relacionamento entre as variáveis econômicas (GUJARATI; PORTER, 2011).

Para Cohen (2008) e Enders (2014), o teste de cointegração mais indicado para análise de dados em painel é o de Pedroni, pois ele permite a inclusão de diferentes tipos de tendências e regressões em sua análise. Neste trabalho, utiliza-se o teste de cointegração de Pedroni, que testa três modelos determinísticos: sem tendência e sem intercepto (None), com intercepto (Const.) e com intercepto e tendência (Trend), conforme apresentado na Tabela 2 e equações 2, 3 e 4.

Tabela 2 - Modelos determinísticos

Modelos	Fórmula
None	$Y_{i,t} = \delta Y_{i,t-1} + u_{i,t}$ (2)
Const.	$Y_{i,t} = \beta_1 + \delta Y_{i,t-1} + u_{i,t}$ (3)
Trend.	$Y_{i,t} = \beta_1 + \beta_2 t + \delta Y_{i,t-1} + u_{i,t}$ (4)

Fonte: EViews (2022).

De acordo com Pedroni (1999), na primeira etapa, é aplicado um teste para verificar se cada série temporal é estacionária. Se uma série não for estacionária, é feita uma diferenciação de primeira ordem na série para torná-la estacionária. Na segunda etapa, é testada a existência de cointegração entre as séries estacionárias resultantes da primeira etapa. Essas duas etapas são repetidas para cada modelo determinístico. A equação 5 é usada para essa análise.

$$Y_{i,t} = \sigma_i + \delta_i t + \beta_{1i} x_{1i,t} + \beta_{2i} x_{2i,t} + \dots + \beta_{Mi} x_{Mi,t} + e_{i,t} \quad (5)$$

Nessa equação,  $\sigma$  e  $\beta$  são parâmetros individuais e de tendência, e “ $t$ ”, representa o “lag” que compara os resíduos da regressão de cada série nas outras séries. A significância estatística da estatística  $t$  é usada para determinar se há ou não cointegração entre as séries (ENDERS, 2014). Assim, depois de verificada a confiabilidade da regressão, é possível realizar o teste de causalidade de Granger.

### 3.5 Teste de causalidade de Granger

Granger (1969) define a causalidade como a capacidade de que o presente pode ser explicado pelos valores passados. Na prática, a causalidade de Granger é testada por meio da análise da precedência e do conteúdo de informação contido nas séries temporais. Se a série temporal X contém informações que ajudam a prever a série temporal Y, além das

informações contidas na própria série Y, então diz-se que a série X "causa" a série Y. Ou seja, a série X fornece informações adicionais que melhoram a previsão da série Y.

Gujarati e Porter (2011), explicam ainda que a dependência de uma variável sobre a outra não significa, necessariamente, a existência de influência entre elas. Ou seja, a causalidade não está necessariamente ligada apenas ao fato delas possuírem qualquer tipo de relação. Para facilitar o entendimento de como funciona o teste de causalidade de Granger, utilizou-se o EViews (2022) o qual implica que as informações pertinentes para a previsão das variáveis  $x$  e  $y$  estão exclusivamente contidas em suas séries temporais. Isso é conduzido por meio da estimativa do par de regressão que segue.

$$y_t = \sigma_0 + \sigma_1 y_{t-1} + \dots + \sigma_l y_{t-l} + \beta_1 x_{t-1} + \dots + \beta_l x_{t-l} + \epsilon_t \quad (6)$$

$$x_t = \sigma_0 + \sigma_1 x_{t-1} + \dots + \sigma_l x_{t-l} + \beta_1 y_{t-1} + \dots + \beta_l y_{t-l} + u_t \quad (7)$$

As estatísticas  $F$  são as estatísticas de Wald para a hipótese conjunta. Dessa forma,  $\beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_l = 0$ , a hipótese nula é que  $x$  não causa Granger em  $y$  na primeira regressão e que  $y$  não causa Granger em  $x$  na segunda regressão. Além disso, conforme, Cavalcanti (2010), quatro casos distintos podem ser observados como resultado deste teste: (i) causalidade unidirecional de  $y$  para  $x$ ; (ii) causalidade unidirecional de  $x$  para  $y$ ; (iii) causalidade bidirecional; (iv) ausência de causalidade em qualquer direção. Dessa forma, Cavalcanti (2010) e Gujarati e Porter (2011), convergem na ideia de que mudanças em  $x$  precedem mudanças em  $y$ , ao longo do tempo, se a variável  $x$  Granger-causa a variável  $y$ .

#### 4 Resultados e discussões

Este trabalho teve como objetivo analisar a relação de causa e efeito entre o PIB per capita o índice de inovação e a performance ambiental de 102 países no período de 2008 a 2022. A Figura 2 representa os países analisados.

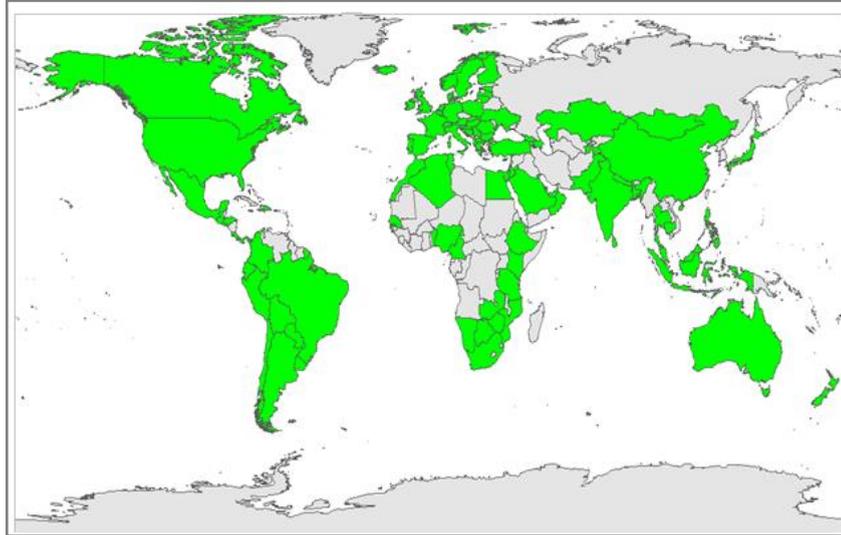


Figura 2 – Países analisados.  
Fonte: Elaboração própria (2023).

É importante ressaltar que a seleção dos 102 países para esta pesquisa foi realizada após a integração dos dados disponíveis nos relatórios mencionados. A escolha foi feita com o objetivo de incluir países que apresentassem informações em comum para a construção do ensaio estatístico.

É possível identificar alguns padrões geográficos e econômicos nos países analisados, em que 39 países se localizam na Europa, 18 países situam-se na América do Sul e Central, 2 países pertencem à América do Norte, 24 situam-se na Ásia, 2 na Oceania e 17 países estão localizados no continente Africano. Observa-se que a amostra inclui países de diferentes continentes, o que proporciona uma perspectiva global na análise. Ademais, as populações residentes nestes países representam cerca de 4,8 bilhões de pessoas (aproximadamente 61% da população mundial).

Além disso, é relevante apresentar uma análise estatística descritiva dos dados coletados para cada variável. A Tabela 3 apresenta as estatísticas descritivas das variáveis utilizadas neste estudo.

Tabela 3 - Estatísticas descritivas

Variável	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	N
Performance ambiental (EPI*)	57,24	14,54	18,90	90,68	102
PIB per capita (US\$)	19.707,74	23.438,71	320,86	103.590,15	102
Índice Global de Inovação	39,99	12,57	14,60	75,40	102

\* Environment Performance Index.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Analisando-se a Tabela 3, várias informações importantes podem ser observadas. No

que se refere ao Índice de Performance Ambiental (EPI): a média de 57,24 indica um valor moderado para a performance ambiental nos países analisados. Entretanto, a variação é notável, com o país de maior desempenho alcançando 90,68 e o país de menor desempenho registrando 18,90. Essa ampla variação destaca a diversidade de práticas de gestão ambiental e sustentabilidade entre os países.

Averiguando-se o PIB per capita observa-se que a média de US\$19.707,74 reflete o valor médio do Produto Interno Bruto per capita nos países analisados. Porém, vê-se uma grande dispersão nos valores, com o mínimo sendo US\$320,86 e o máximo atingindo US\$103.590,15. Essa diferença substancial entre o menor e o maior valor destaca as desigualdades econômicas existentes entre os países selecionados.

Por fim, verificando-se o Índice Global de Inovação considera-se a média de 39,99, a qual indica um nível moderado de inovação nos países analisados. Assim como na performance ambiental, há uma variação significativa, com o país de maior índice atingindo 75,40 e o país de menor índice registrando 14,60. Essa discrepância ressalta as diferenças no ambiente de inovação e nas atividades de pesquisa e desenvolvimento entre os países.

É interessante destacar que os países com as melhores posições tanto no Índice de Performance Ambiental quanto em Índice Global de Inovação são predominantemente países europeus nórdicos, considerados desenvolvidos e conhecidos por suas práticas sustentáveis e capacidade de inovação. Por outro lado, os países com os piores resultados estão localizados principalmente na África e no sul da Ásia, onde há desafios significativos em termos de desenvolvimento econômico e sustentabilidade ambiental.

A diferença entre os valores mínimo e máximo em cada variável destaca a heterogeneidade dos países analisados. Essa variação considerável reforça a importância de compreender e investigar as relações entre as variáveis abordadas na pesquisa, como performance ambiental, inovação e desenvolvimento econômico.

Essas observações preliminares da análise descritiva ressaltam a diversidade e as disparidades existentes entre os países em termos de desempenho ambiental, inovação e desenvolvimento econômico. Essa compreensão reforça a necessidade de investigar as relações de causa e efeito entre essas variáveis em busca de insights e orientações para promover a sustentabilidade e o desenvolvimento global. Porém, antes de se proceder com teste de causalidade de Granger, é preciso analisar a estacionariedade dos dados.

De acordo com Teräsvirta, Tjostheim e Granger (2011), a estacionariedade é um aspecto crucial que deve ser levado em consideração ao testar a causalidade de Granger. Eles argumentam que a ignorar pode levar a resultados enganosos e a conclusões erradas sobre a

existência de causalidade entre as séries temporais. Visando verificar a estacionariedade dos dados, este estudo realizou o teste de raiz unitária, como exibe a tabela que segue.

Tabela 4 - Teste de raiz unitária para as variáveis: Performance Ambiental, Índice de Inovação e Variação Percentual ( $\Delta\%$ ) do PIB per capita no período de 2008 a 2022 (bases bianuais)

Variável	Lag	Trend	Const	None
Performance ambiental	0	79,669	105,105	232,594 **
	1	202,847 *	232,847 *	558,402 ***
Índice de Inovação	0	944,184 ***	182,669 ***	163,442 ***
	1	1.077,090 ***	1.602,250 ***	1.475,760 ***
$\Delta\%$ do PIB per capita	0	787,320 ***	1.175,110 ***	1.413,230 **
	1	648,009 ***	1.002,310 ***	1.759,270 ***

Legenda: \* significância de 10%; \*\* significância de 5%; \*\*\* significância de 1%;  $\Delta\%$ : variação percentual.

None: modelo determinístico sem tendência e sem intercepto; Const: modelo determinístico com intercepto;

Trend: modelo determinístico com intercepto e com tendência.

Fonte: Elaboração própria (2023).

De acordo com a Tabela 4, é possível evidenciar que para os três modelos determinísticos testados, quais são: sem tendência e sem intercepto (None), com intercepto (Const.) e com intercepto e com tendência (Trend), a hipótese nula de raiz unitária foi rejeitada, tanto para a primeira diferença (*lag1*) da variável performance ambiental, quanto para a primeira diferença do Índice de Inovação. Por outro lado, rejeitou-se a hipótese nula de raiz unitária para a variável em nível (*lag0*), da variação percentual do PIB per capita. Ou seja, há evidências suficientes para concluir que a série é estacionária, possuindo propriedades estatísticas estáveis e consistentes ao longo do tempo (ENDERS, 2014; BROCKWELL; DAVIS, 2016).

Na sequência, foi realizado o teste de cointegração utilizando-se dados em painéis. Neste sentido, Stock e Watson (1993) destacam que este teste permite que os pesquisadores avaliem a presença de relações de longo prazo entre variáveis, o que é essencial para modelar a dinâmica de sistemas econômicos complexos.

A Tabela 5 exibe os resultados do teste de Cointegração de Pedroni aplicado para as variáveis: primeira diferença da performance ambiental, primeira diferença do Índice de Inovação e variação percentual do PIB per capita para o período de 2008 a 2022 (em bases bianuais).

Tabela 5 - Teste de Cointegração de Pedroni aplicado para as variáveis: Primeira Diferença ( $\Delta$ ) da Performance Ambiental, Primeira Diferença ( $\Delta$ ) do Índice de Inovação e Variação Percentual ( $\Delta\%$ ) do PIB per capita em bases bianuais, para o período de 2010 a 2022 (bases bianuais)

$\Delta$ da Performance Ambiental cointegrada à $\Delta$ do Índice de	$\Delta$ da Performance Ambiental cointegrada à $\Delta\%$ do PIB per	$\Delta$ do Índice de Inovação cointegrado à $\Delta\%$ do PIB per
---	---	--

		Inovação			capita em bases bianuais			capita em bases bianuais		
H0		Trend	Const	None	Trend	Const	None	Trend	Const	None
	ND		-5,345	-17,076	ND	-27,355	-16,078	ND	-1.463,800	-11,875
$r \leq 2$			***	***	***	***	***		***	***
		-12,739	-4,176	-6,390	-18,652	-10,848	-12,016	-17,170	-17,858	-21,125
$r \leq 1$		***	***	***	***	***	***	***	***	***
		-14,306	-7,779	-13,481	-9,453	-7,339	-11,838	-32,976	-31,228	-21,241
$r \leq 0$		***	***	***	***	***	***	***	***	***

Legenda: \* significância de 10%; \*\* significância de 5%; \*\*\* significância de 1%;  $\Delta$  indica a primeira diferença;  $\Delta\%$ : variação Percentual; None: modelo determinístico sem tendência e sem intercepto; Const: modelo determinístico com intercepto; Trend: modelo determinístico com intercepto e com tendência; ND: não disponível.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Observa-se na Tabela 5 os resultados do teste de cointegração de Pedroni aplicado às variáveis de primeira diferença da performance ambiental, diferença inicial do Índice de Inovação e variação percentual do PIB per capita em bases bianuais, durante o período de 2010 a 2022. A tabela apresenta as estatísticas do teste para diferentes modelos determinísticos (Trend, Const e None) e diferentes restrições ( $r \leq 2$ ,  $r \leq 1$ ,  $r \leq 0$ ) relacionadas ao número de relações de cointegração. Os valores apresentados representam as estatísticas do teste para cada combinação de modelo e restrição. Ademais, a análise dos resultados indica que os valores das estatísticas do teste de cointegração foram significativos para todas as combinações de modelo e restrição.

Com base nos resultados significativos, pode-se concluir que a hipótese nula de não existência de cointegração entre as variáveis foi rejeitada. Isso significa que as séries temporais foram cointegradas e sugerem a presença de uma relação de equilíbrio de longo prazo entre as variáveis analisadas. Essa descoberta está alinhada com estudos anteriores de Sarkar *et al.* (2019), Guerrero-Lemus *et al.* (2019), Gão *et al.* (2021), Ou e Jiang (2023) e outros, que também identificaram relações causais entre variáveis relacionadas ao meio ambiente, inovação e desenvolvimento econômico.

No entanto, é importante destacar que esses resultados indicam a presença de cointegração, mas não estabelecem a direção ou o tipo específico de relação causal entre as variáveis. Portanto, para fundamentar as relações mencionadas neste estudo, é recomendável realizar o teste de causalidade de Granger, conforme mencionado na análise.

Em síntese, os resultados do teste de cointegração indicam a presença de uma relação de equilíbrio de longo prazo entre as variáveis analisadas. Essa descoberta fortalece a hipótese de que há uma possível relação causal entre performance ambiental, inovação e desenvolvimento econômico. Para avançar na compreensão dessas relações, é necessário realizar o teste de causalidade de Granger para identificar as direções causais entre as

variáveis.

Tabela 6 - Teste de Causalidade de Granger aplicado para as variáveis: Primeira Diferença ( $\Delta$ ) da Performance Ambiental, Primeira Diferença ( $\Delta$ ) do Índice de Inovação e Variação Percentual ( $\Delta\%$ ) do PIB per capita em bases bianuais, para o período de 2010 a 2022 (bases bianuais)

<i>Lag</i>	$\Delta$ da Performance Ambiental	$\Delta$ do Índice de Inovação	$\Delta\%$ do PIB per capita em bases bianuais	$\Delta$ da Performance Ambiental	$\Delta\%$ do PIB per capita em bases bianuais	$\Delta$ do Índice de Inovação
	$\sim$ $\Delta$ do Índice de Inovação	$\sim$ $\Delta$ da Performance Ambiental	$\sim$ $\Delta$ da Performance Ambiental	$\sim$ $\Delta\%$ do PIB per capita em bases bianuais	$\sim$ $\Delta$ do Índice de Inovação	$\sim$ $\Delta\%$ do PIB per capita em bases bianuais
1	15,791 ***	0,360	9,732 ***	7,751 ***	4,313 **	0,010
2	26,132 ***	108,760 ***	11,832 ***	13,874 ***	3,405 **	41,317 ***
3	12,832 ***	95,529 ***	15,470 ***	10,981 ***	2,317 *	21,911 ***
4	10,737 ***	3,411 ***	4,756 ***	6,389 ***	4,148 ***	9,810 ***
5	3,393 ***	2,833 **	5,094 ***	5,572 ***	2,127 *	4,008 ***
6	1,569	3,952 ***	2,059 ***	1,180 ***	2,165 *	1,571

Legenda: \* significância de 10%; \*\* significância de 5%; \*\*\* significância de 1%;  $\Delta$  indica a primeira diferença;  $\Delta\%$  indica a variação percentual;  $\sim$  indica a hipótese de não causalidade de Granger.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Conforme apresentado na Tabela 6, verifica-se que a hipótese nula de não causalidade entre as variáveis foi rejeitada, ou seja, a primeira diferença da performance ambiental não causa Granger na primeira diferença do Índice de Inovação do *lag1* ao *lag5* (15,791 sig. 0,01; 26,132 sig. 0,01; 12,832 sig. 0,01; 10,737 sig. 0,01; 3,393 sig. 0,01).

Também foi possível observar que a hipótese nula de que a Primeira Diferença do Índice de Inovação não causa Granger na primeira diferença da performance ambiental foi rejeitada, nos *lag 2* ao *lag 6* (108,760 sig. 0,01; 95,529 sig. 0,01; 3,411 sig. 0,01; 2,833 sig. 0,01; 3,952 sig. 0,01). Isto é, tem-se uma relação bidirecional, uma vez que o aumento de práticas de performance ambiental incentiva a busca por inovação e, por sua vez, a inovação pode melhorar a performance ambiental (GÃO *et al.*, 2021).

Conclui-se, portanto, que uma variação na performance ambiental dos países analisados implicaria em uma variação do Índice de Inovação desde  $t=1$ , até 5 biênios ( $t=5$ ) subsequentes. Na prática, nota-se que além de uma relação de curto prazo, em que a performance ambiental é impactada pela inovação, como já explicados nos estudos de Cheng *et al.* (2021) e Gão *et al.* (2021), há também relação de longo prazo apontada por Balsalobre-Lorente *et al.* (2019), Liao *et al.* (2019). Isso se deve ao fato de que o ritmo de inovação para a performance ambiental é lento (SILVESTRE, 2015), e os resultados de uma variação do Índice de Inovação só são demonstrados a partir de  $t=2$ . Os benefícios ambientais da inovação

podem ocorrer em diferentes momentos ao longo do ciclo de vida do produto ou processo inovador, resultando em benefícios ambientais imediatos ou a médio e longo prazo (RIZK; MACHOL, 2015).

Por um lado, estudos como os de Wu, Wang e Zhang (2020), Nasir, Huyin e Tram (2019), Cheng *et al.* (2021) e Gão *et al.* (2021) demonstram que a inovação tem efeito positivo na performance ambiental. Por outro lado, Nasir, Huyin e Tram (2019) afirmam que o efeito da inovação é ligado aos recursos financeiros. Para esclarecer esse cenário, foi analisada a relação entre o PIB per capita e a primeira diferença da performance ambiental. Observou-se, na mesma tabela, a hipótese nula de que a variação do PIB per capita causa Granger na primeira diferença da performance ambiental (9,732 sig. 0,01; 11,832 sig. 0,01; 15,470 sig. 0,01; 4,756 sig. 0,01; 5,094 sig. 0,01; 2,059 sig. 0,01), assim como a primeira diferença da performance ambiental causa Granger na variação percentual do PIB per capita (7,751 sig. 0,01; 13,874 sig. 0,01; 10,981 sig. 0,01; 6,389 sig. 0,01; 5,572 sig. 0,01; 1,180 sig. 0,01) dos períodos analisados. Desta forma, evidencia-se uma relação bidirecional entre as variáveis.

Segundo o estudo de Balsalobre-Lorente *et al.* (2019), Fishman *et al.* (2020) e Ou e Jiang (2023), é observado que o aumento no PIB e o nível de desenvolvimento econômico dos países podem contribuir para o aumento da performance ambiental. Assim como a performance ambiental contribui para o desenvolvimento econômico como complementado por Liao *et al.* (2019) e Guan *et al.* (2018). Como exemplo, esses autores citam o caso da China, em que, somente em longo prazo, após passarem por mudanças na estrutura econômica e adotarem tecnologias mais limpas e políticas de redução de emissões, o país foi capaz de ajudar a mitigar impactos negativos no meio ambiente, aumentando assim a performance ambiental. Logo, visando esclarecer essa relação, também foi importante considerar a hipótese nula de que a variação do PIB per capita causa Granger na primeira diferença do Índice de Inovação.

De igual modo, destaca-se a existência de uma relação bidirecional entre as variáveis. Contudo, é relevante observar que a primeira diferença do Índice de Inovação não causa Granger em *lag* 1. Isso pode ser explicado por Guan *et al.* (2018) e Liao *et al.* (2019) que apontam que a inovação impulsiona o crescimento econômico, o que, por sua vez pode estimular mais inovação, mas isso só acontece em um período de maturação do empreendimento ou da aplicação da inovação desenvolvida.

Os resultados desta pesquisa mostram que a relação entre desenvolvimento econômico, inovação e performance ambiental é complexa e interconectada. Estudos indicam

que a inovação desempenha um papel crucial na busca pelo desenvolvimento sustentável, gerando soluções para desafios econômicos, sociais e ambientais. A introdução de novas tecnologias e produtos permite que as empresas aumentem sua eficiência, reduzam custos e aumentem os lucros, ao mesmo tempo em que abrem novos mercados e ampliam a competitividade.

Entretanto, a relação entre esses elementos é multifacetada. As inovações podem ter tanto efeitos positivos quanto negativos na performance ambiental, dependendo de sua natureza, escopo, contexto socioeconômico e políticas públicas (BOONS *et al.*, 2013). O desenvolvimento econômico pode acarretar problemas ambientais e sociais, mas também pode impulsionar investimentos em pesquisa e desenvolvimento para melhorar a performance ambiental.

Estudos como os de Wu, Wang e Zhang (2020), Guan *et al.* (2018), Nasir, Huyin e Tram (2019), Liao *et al.* (2019), Cheng *et al.* (2021) e Gão *et al.* (2021) destacam a complexidade dessas interações. Alguns mostram que a inovação tecnológica pode melhorar a performance ambiental dos países, enquanto outros revelam que o crescimento econômico pode impulsionar as emissões de CO<sub>2</sub>, mas políticas e mudanças na economia e tecnologia podem mitigar esses impactos negativos. Além disso, há evidências de que a inovação reduz as emissões de CO<sub>2</sub> (LIN; ZHUN, 2018; NASIR; HUYIN; TRAM, 2019; LIAO *et al.*, 2019).

Assim, para promover um desenvolvimento mais sustentável e integrado, é necessário buscar um equilíbrio entre desenvolvimento econômico, inovação e performance ambiental. Isso implica considerar os impactos positivos e negativos da inovação, implementar políticas que incentivem a inovação sustentável e garantir que o crescimento econômico seja acompanhado por medidas de proteção ambiental. Além disso, é essencial adotar abordagens holísticas que considerem as dimensões sociais e ambientais, a fim de evitar desigualdades e danos irreversíveis ao meio ambiente.

## **5 Considerações finais**

A busca por um desenvolvimento mais sustentável é essencial diante dos impactos ambientais causados pelo crescimento econômico e pelas mudanças nos estilos de vida e padrões de consumo. Nesse contexto, a inovação desempenha um papel fundamental ao possibilitar melhorias nos processos de produção, redução do consumo de recursos e criação de produtos e serviços sustentáveis.

Este estudo analisou as relações causais entre a performance ambiental, o Índice de

Inovação e o desenvolvimento econômico em 102 países durante o período de 2008 a 2022. Os resultados encontrados corroboram com pesquisas anteriores, como as de Wu, Wang e Zhang (2018), Nasir, Huyin e Tram (2019), Cheng *et al.* (2021), Sarkar *et al.* (2019), Guerrero-Lemus *et al.* (2019), Gão *et al.* (2021), Balsalobre-Lorente *et al.* (2019), que também encontraram relações similares. Esses estudos destacaram a importância da inovação para o desenvolvimento econômico e a performance ambiental, assim como a influência positiva do desenvolvimento econômico na inovação e na performance ambiental. Além disso, evidenciaram como a adoção de práticas inovadoras e o maior desenvolvimento econômico podem impactar positivamente a sustentabilidade ambiental.

A análise econômica realizada neste estudo demonstrou que as relações entre as variáveis são significantes tanto em curto quanto em longo prazo. Esses resultados têm implicações importantes para a tomada de decisão empresarial e governamental, assim como para futuras pesquisas sobre inovação e seus impactos no desempenho econômico e ambiental.

Oportuno ressaltar que as limitações deste estudo, que se baseou em dados de painéis e pode não ter considerado outros fatores como geografia, clima, políticas públicas e religião, os quais também podem influenciar os resultados.

Promover um desenvolvimento mais sustentável requer a integração de desenvolvimento econômico, inovação e performance ambiental. Essas relações devem ser compreendidas e exploradas de forma integrada, buscando um equilíbrio entre o crescimento econômico e a proteção ambiental.

As descobertas deste estudo, juntamente com pesquisas anteriores, fornecem evidências de que essa abordagem integrada não só é viável, mas também necessária para garantir um futuro mais sustentável para as gerações presentes e futuras. Essas evidências podem ter implicações importantes na formulação de políticas públicas e práticas empresariais voltadas para o desenvolvimento sustentável.

Em conclusão, compreender e promover as relações entre desenvolvimento econômico, inovação e performance ambiental é essencial para alcançar um desenvolvimento mais sustentável. A integração eficaz dessas variáveis deve ser buscada por meio de estratégias e políticas que visem equilibrar o crescimento econômico com a proteção do meio ambiente. Essa abordagem contribuirá para um futuro mais sustentável e para o bem-estar das gerações atuais e futuras.

## **Referências**

- ADEEL-FAROOQ, R. M.; RAJI, J. O.; QAMRI, G. M. Does financial development influence the overall natural environment? An environmental performance index (EPI) based insight from the ASEAN countries. *Environment, Development and Sustainability*, p. 1-17, 2022.
- ANSER, M. K.; ALHARTHI, M.; AZIZ, B. Impact of urbanization, economic growth, and population size on residential carbon emissions in the SAARC countries. *Clean Techn Environ Policy*, v. 22, p. 923-936, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10098-020-01833-y>. Acesso em: 21 jun. 2023.
- APERGIS, N.; GARCÍA, C. Environmentalism in the EU-28 context: the impact of governance quality on environmental energy efficiency. *Environ Sci Pollut Res*, v. 26, n.36, p. 37012-37025, 2019. Disponível em: <https://doi-org.ez66.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s11356-019-06600>. Acesso em: 14 jul. 2023.
- BALSALOBRE-LORENTE, D. *et al.* The Role of Energy Innovation and Corruption in Carbon Emissions: Evidence Based on the EKC Hypothesis. In: Shahbaz, M., Balsalobre, D. (eds) **Energy and environmental strategies in the era of globalization**. Green Energy and Technology. Springer, Cham, p 271–304, 2019. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-06001-5\\_11](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-06001-5_11). Acesso em: maio 2023.
- BALSALOBRE-LORENTE, D. *et al.* An approach to the pollution haven and pollution halo hypotheses in MINT countries. *Environ Sci Pollut Res*, v. 26, n. 22, p. 23010-23026, 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31183758/>. Acesso em: 14 jun. 2023.
- BARBIER, E. B. The concept of sustainable economic development. *Environmental Conservation*, v. 14, n. 2, p. 101-110, 2017.
- BELL, A. J.; DEUBZER, O. Lead-free piezoelectrics: The environmental and regulatory issues. *MRS Bulletin*, v. 43, n. 8, p. 581-587, 2018. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/mrs-bulletin/article/abs/leadfree-piezoelectricsthe-environmental-and-regulatory-issues/22839119364C9FB0CC30A1A1B66FE925>. Access em: 12 mar. 2023.
- BENGTSSON, M. *et al.* Transforming systems of consumption and production for achieving the sustainable development goals: Moving beyond efficiency. *Sustainability science*, v. 13, p. 1533-1547, 2018.
- BHALAJI, R. K. A *et al.* A soft computing methodology to analyze sustainable risks in surgical cotton manufacturing companies. *Sādhanā*, v. 45, p. 1-22, 2020. Disponível em: <https://doi-org.ez66.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s12046-020-1306-7>. Acesso em: 15 jul. 2023.
- BIERMANN, F. *et al.* Scientific evidence on the political impact of the Sustainable Development Goals. *Nature Sustainability*, v. 5, n. 9, p. 795-800, 2022.
- BOONS, F. *et al.* Sustainable innovation, business models and economic performance: An overview. *Journal of Cleaner Production*, v. 45, p. 1-8, 2013.
- BROCKWELL, P. J.; DAVIS, R. A. **Introduction to time series and forecasting**. Springer, 2016.
- CARAYANNIS, E. G.; CAMPBELL, D. F. J.; REHMAN, S. S. “Happy accidents”: innovation-driven opportunities and perspectives for development in the knowledge economy.

J Innov Entrep 4, 7 (2015). Disponível em < <https://doi.org/10.1186/s13731-015-0021-9>>. Acesso em: 12 fev. 2023.

CAVALCANTI, M. A. T. H. Identificação de modelos VAR e causalidade de Granger: uma nota de advertência. **Economia aplicada**, v. 14, n. 2, p. 251-260, 2010.

CHENG, Y.; YAO, X. Carbon intensity reduction assessment of renewable energy technology innovation in China: A panel data model with cross-section dependence and slope heterogeneity. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. v. 135, n. 110157, jan. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032120304482>. Acesso em: 14 maio 2023.

COHEN, B. H. **Explaining Psychological Statistics**. 4th ed., Wiley, 2008.

DANGELICO, R. M.; PUJARI, D. Mainstreaming green product innovation: why and how companies integrate environmental sustainability. **Journal of business ethics**, 2010.

DASGUPTA, P.; BALDWIN, R.; STEINBERG, D. A. **The economics of biodiversity: The Dasgupta review**. HM Treasury, United Kingdom, 2021.

DI PASQUALE, V. *et al.* A model for green order quantity allocation in a collaborative supply chain. **Journal of Cleaner Production**, v. 396, n. 136476, 2023.

DIETSCHY, B. Toward a “nature alliance”: In: *Critical Sustainability Sciences*. **Routledge**, p. 119-145, 2024.

DKHILI, H. Environmental Performance and Economic Growth in Middle East and North Africa Countries. **J Health Pollut**, v. 9, n. 24, n.191208, nov. 2019. Disponível em: [10.5696/2156-9614-9.24.191208](https://doi.org/10.5696/2156-9614-9.24.191208). Acesso em: 14 fev. 2023.

ENDERS, W. **Applied econometric time series**. John Wiley e Sons, 2014.

ENGLE, R. F.; GRANGER, C. W. J. Co-integration and error correction: representation, estimation and testing. *Econometrica*, Chicago, v. 55, n. 2, p. 251-276, 1987.

EPI - Environmental Performance Index report, Yale 2022. Disponível em: <https://epi.yale.edu/epi-results/2022/component/epi>. Acesso em: 15 jan. 2023.

EIEWS User Guide. **Panel Cointegration**. 2021. Disponível em: [https://www.eviews.com/help/helpintro.html#page/content/pool-Panel\\_Cointegration.html](https://www.eviews.com/help/helpintro.html#page/content/pool-Panel_Cointegration.html). Acesso em: 19 mar. 2023.

FAGERBERG, J.; MOWERY, D. C.; NELSON, R. R. **The Oxford handbook of innovation**. Oxford University Press, 2015.

FAKHER, H. *et al.* Renewable energy, nonrenewable energy, and environmental quality nexus: An investigation of the N-shaped Environmental Kuznets Curve based on six environmental indicators. **Energy**, v. 263, n. 15, jan. 2023. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125660>. Acesso em: 14 jul. 2023.

FISHMAN, T, HEEREN N, PAULIUK S, *et al.* A comprehensive set of global scenarios of housing, mobility, and material efficiency for material cycles and energy systems modeling.

**Journal of Industry Ecology**, v. 25, 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jiec.13122>. Acesso em: 17 abr. 2023.

FOLKE, C. Social-Ecological Resilience and Biosphere-Based Sustainability **Science, Ecology and Society**, v. 21, n. 3, 2016. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/26269981>. Acesso em: 14 jun. 2023.

GAO, X.; FAN, M. The role of quality institutions and technological innovations in environmental sustainability: Panel data analysis of BRI countries. **Plos one**, v. 18, n. 6, p.e0287543, 2023. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0287543>. Acesso em: 15 jul. 2023.

GODECKE, M. V. **O consumismo e a geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil**. 2012. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/o-consumismo-e-a-geracao-de-residuos-solidos-urbanos-no-brasil/egt>. Acesso em: 14 fev. 2022.

GORHAM, E.; LEHMAN, C.; KELLY, J. Relationships of the environmental performance index to six interrelated variables in nations around the world. **Bulletin of the Ecological Society of America**, v. 100, n. 2, p. 1-8, 2019.

GRANGER, C. Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods. **Econometrica**, v. 37, n. 3, p. 424-438, jul. 1969. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/1912791>. Acesso em: 28 jul. 2023.

GROSSMAN, G. M.; KRUEGER, A. B. **Environmental impacts of North American free trade agreement**. Nber working paper series. Working paper n.3914 National Bureau of economic research. Cambridge: November 1991.

GUAN, D. *et al.* Structural decline in China's CO<sub>2</sub> emissions through transitions in industry and energy systems. **Nature Geosci**, v. 11, p. 551-555, 2018. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41561-018-0161-1#citeas>. Acesso em: 12 maio 2023.

GUERRERO-LEMUS R. *et al.* A simple big data methodology and analysis of the specific yield of all PV power plants in a power system over a long time period, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 107, p. 123-132, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211930125X>. Acesso em: 14 abr. 2023

GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria básica**. 5.ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

GYIMAH, P.; APPIAH, K. O.; APPIAGYEI, K. Seven years of United Nations' sustainable development goals in Africa: A bibliometric and systematic methodological review. **Journal of Cleaner Production**, n. 136422, 2023.

HAN, F. *et al.* Government environmental protection subsidies and corporate green innovation: Evidence from Chinese microenterprises. **Elsevier**, v. 9, 2022. Disponível em: <https://www.elsevier.es/en-revista-journal-innovation-knowledge-376-articulo-government-environmental-protection-subsidies-corporate-S2444569X23001531>. Acesso em: 18 jan. 2024.

HUSSAIN, N.; RIGONI, U.; ORIJ, R. P. Corporate governance and sustainability performance: analysis of triple bottom line performance. **J Bus Ethics**, v. 149, p. 411-432,

2018. Disponível em: <https://doi-org.ez66.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10551-016-30995>. Acesso em: 18 jun. 2023.

JIN, G.; GUO, B.; DENG, X. Is there a decoupling relationship between CO2 emission reduction and poverty alleviation in China? **Technological Forecasting and Social Change**, v.151, p. 119856, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162519318955>. Acesso em: 12 maio 2023.

JUMA, L. *et al.* Towards a sustainability paradigm; the nexus between lean green practices, sustainability-oriented innovation and Triple Bottom Line. **International Journal of Production Economics**, v. 245, p. 108393, 2022.

KHAN, S.; YAHONG, W. How does economic complexity affect ecological footprint in G-7 economies: the role of renewable and non-renewable energy consumptions and testing EKC hypothesis. **Environ Sci Pollut Res**, v.29, p. 47647-47660, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-022-19094-1>. Acesso em: 10 jun. 2023.

KHAN, H.; WEILI, L.; KHAN, I. Institutional quality, financial development and the influence of environmental factors on carbon emissions: evidence from a global perspective. **Environ Sci Pollut Res**, v. 29, p. 13356-13368, 2021. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2021.838714/full>. Acesso em: 18 ago. 2023.

KHAN, I. S.; AHMAD, M. O.; MAJAVA, J. Industry 4.0 innovations and their implications: An evaluation from sustainable development perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 405, n. 137006, 2023.

KHOSLA, R., MIRANDA, N.D., TROTTER, P.A. et al. Cooling for sustainable development. **Nature Sustainability**, v. 4, n. 3, p.201-208, 2021.

KIRIKKALELI, D. New insights into an old issue: Exploring the nexus between economic growth and CO2 emissions in China. **Environ Sci Pollut Res** 27(32):40777–40786, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10090-x>

KOENGGAN, M.; FUINHAS, J. A.; SILVA, N. Exploring the capacity of renewable energy consumption to reduce outdoor air pollution death rate in Latin America and the Caribbean region. **Environ Sci Pollut Res**, v. 28, p. 1656-1674, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-020-10503-x#citeas>. Acesso em: 10 set. 2023.

KUMAR, V e SUNDARRAJ. R.P. (2018). The Economic Impact of Innovation. In: Global Innovation and Economic Value. India Studies in Business and Economics. Springer, New Delhi. [https://doi.org/10.1007/978-81-322-3760-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-81-322-3760-0_2)

LEAL FILHO, W.; SALVIA, A. L.; EUSTACHIO, J. H. P. P. An overview of the engagement of higher education institutions in the implementation of the UN Sustainable Development Goals. **Journal of Cleaner Production**, n. 135694, 2022.

LIAO, Y. *et al.* Assessing the Impact of Green Innovation on Corporate Sustainable Development. **Frontiers in Energy Research**. v. 9, 2019. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenrg.2021.800848>. Acesso em: 12 maio 2023.

LIN, B.; ZHUN, J. Determinants of renewable energy technological innovation in China under CO2 emissions constraint, **Journal of Environmental Management**, v. 247, p. 662-

671, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.121>. Acesso em: 10 jun. 2023.

LIMA RUA, O.; MUSIELLO-NETO, F.; ARIAS-OLIVA, M. Linking open innovation and competitive advantage: the roles of corporate risk management and organisational strategy. **Baltic Journal of Management**, v. 18, n. 1, p. 104-121, 2023.

LUO, G. *et al.* A reexamination of the existence of environmental Kuznets curve for CO2 emissions: evidence from G20 countries. **Nat Hazards**, v. 85, n. 2, p. 1023-1042, 2017. Disponível em: [https://econpapers.repec.org/article/sprnathaz/v\\_3a85\\_3ay\\_3a2017\\_3ai\\_3a2\\_3ad\\_3a10.1007\\_5fs11069-016-2618-0.htm](https://econpapers.repec.org/article/sprnathaz/v_3a85_3ay_3a2017_3ai_3a2_3ad_3a10.1007_5fs11069-016-2618-0.htm)> Acesso em: 12 jul. 2023.

MALERBA, F.; MCKELVEY, M. Innovation as a knowledge-intensive interfirm coordination process: Insights from the empirical evidence. **Journal of Economic Behavior e Organization**, v. 158, p. 187-197, 2019.

MENSAH, I.; BENEDICT, M. Innovation and sustainable development: The role of intellectual property rights. **Journal of Cleaner Production**, v. 139, p. 1054-1065, 2016.

MENSAH, C. N. *et al.* The effect of innovation on CO2 emissions of OCED countries from 1990 to 2014. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, p. 29678-29698, 2018. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30144011/>. Acesso em: 12 jul. 2023.

MENSAH, J. Sustainable development: Meaning, history, principles, pillars, and implications for human action: Literature review. **Cogent social sciences**, v. 5, n.1653531, 2019.

MUGHAL, N. *et al.* **The role of technological innovation in environmental pollution, energy consumption and sustainable economic growth: Evidence from South Asian economies.** Published by Elsevier Ltd., 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X21001309>. Acesso em: 12 jul. 2023.

NAQVI, S. A. A. *et al.* Environmental sustainability and biomass energy consumption through the lens of pollution Haven hypothesis and renewable energy-environmental kuznets curve. **Renewable Energy**, v. 212, p. 621-631, 2023.

NASIR, M. A.; HUYIN, T. L. D.; TRAM, H. T. X. T. Role of financial development, economic growth & foreign direct investment in driving climate change: A case of emerging ASEAN. **Journal of Environmental Management**, v. 242, p. 131-141, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479719304256>. Acesso em: 10 maio 2023.

OECD - EUROSTAT. Introduction to innovation statistics and the Oslo Manual", in Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation, 4th Edition, OECD Publishing, Paris. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/9789264304604-4-en>. Acesso em: 10 jan. 2023.

OMOTEHINSE, Adeyinka; DE TOMI, Giorgio. Mining and the sustainable development goals: Prioritizing SDG targets for proper environmental governance. **Ambio**. 2023 Jan; 52(1): 229–241. Published online 2022 Sep 6. doi: 10.1007/s13280-022-01775-3.

O'NEILL, B. *et al.* A good life for all within planetary boundaries. **Nature Sustainability**, v.1, n. 2, p. 88-95, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0021-4>. Acesso em: 21 mar. 2023.

ORGANIZAÇÕES DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. **Emissions Gap Report**. 2023. Disponível em: < <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/43922/EGR2023.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Acesso em: 18 ago. 2023.

OSTERGAARD, P. *et al.* **Renewable energy for sustainable development**. Renewable Energy, 2022.

OU X, JIANG H. The Impact of Environmental Regulation on Firm Performance: Evidence from the Pulp and Paper Industry in China. **Int J Environ Res Public Health**. 2023 Feb 8;20(4):2982. doi: 10.3390/ijerph20042982. Disponível em < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9962020/>> Acessado em mar. 2023.

PARAMATI, S. R.; ALAM, M. S.; CHEN, C. F. The effects of tourism on economic growth and CO2 emissions: a comparison between developed and developing economies. **J Travel Res**, v. 56, n. 6, p. 712-724, 2016. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0047287516667848>. Acesso em: 18 jul. 2023.

PEDRONI, P. Critical values for cointegration tests in heterogeneous panels with multiple regressors. **Oxford Bulletin of Economics and Statistics**, 1999. V. 61, n. S1, p. 653-670. Disponível em: doi: 10.1111/1468-0084.0610s1653. Acesso em: 17 mar. 2023.

PUJIATI, A.; FERONICA, S. M. F.; RIDZUAN, A. R. Measurement of The Role of Innovation in Increasing Environmental Performance Index: Empirical Study in Developed and Non-Developed Countries. **International Business and Accounting Research Journal**, v.7, n. 1, p. 18-36, 2023.

RASOOLIMANESH, S. M. *et al.* A systematic scoping review of sustainable tourism indicators in relation to the sustainable development goals. **Journal of Sustainable Tourism**, p. 1-21, 2020.

RIZK, S.; MACHOL, B. Economic value of U.S. fossil fuel electricity health impacts, **Environment International**, v. 52, p. 75-80, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412012000542>. Acesso em: 18 jun. 2023.

ROCKSTRÖM, J. *et al.* Sustainable intensification of agriculture for human prosperity and global sustainability. **Ambio**, v. 46, n. 1, p. 4-17, 2017. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/45147911>. Acesso em: 22 abr. 2023.

ROGERS, E. M.; SINGHAL, A.; QUINLAN, M. M. **Diffusion of innovations**. Simon and Schuster, 2019.

ROMERA, F.; LE BIGOT, E.. **Sustainable tourism for sustainable development: Is Generation Z greener than Millennials? In: Gen Z, Tourism, and Sustainable Consumption**. Routledge, p. 18-29, 2024.

SACHS, J. D. *et al.* Six transformations to achieve the sustainable development goals. **Nature sustainability**, v. 2, n. 9, p. 805-814, 2019.

SACHS, J. D. **The age of sustainable development**. Columbia University Press, 2015.

SAHOO, S.; GOSWAMI, S. Theoretical framework for assessing the economic and environmental impact of water pollution: A detailed study on sustainable development of India. **Journal of Future Sustainability**, v. 4, n. 1, p. 23-34, 2024.

SARKAR, B. *et al.* How does an industry manage the optimum cash flow within a smart production system with the carbon footprint and carbon emission under logistics framework? **International Journal of Production Economics**, v. 213, p. 243-257, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527319300982>. Acesso em: 12 maio. 2023.

SCHUMPETER, J. A. **Business Cycles: A Theoretical, Historical, and Statistical Analysis of the Capitalist Process**. New York Toronto London: McGraw-Hill Book Company, 1939.

SHAHBAZ, M. *et al.* Does financial development reduce CO<sub>2</sub> emissions in Malaysian economy? A time series analysis, **Economic Modelling**, v.35, p. 145-152, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2013.06.037>. Acesso em: 12 jul. 2023.

SHAHBAZ, M.; NASIR, M. A.; ROUBAND, D. Environmental degradation in France: the effects of FDI, financial development, and energy innovations. **Energy Econ**, v. 74, p. 843-857, 2018. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/eee/eneeco/v74y2018icp843-857.html>. Acesso em: 18 jul. 2023.

SHITTU, W. *et al.* An investigation of the nexus between natural resources, environmental performance, energy security and environmental degradation: Evidence from Asia. **Resources Policy**, v. 73, n. 102227, 2021.

SILVESTRE, B. S. Sustainable supply chain management in emerging economies: Environmental turbulence, institutional voids and sustainability trajectories. **International Journal of Production Economics**, v. 167, p. 156-169, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925527315001772>. Acesso em: 19 mar. 2023.

SKENE, K.; MURRAY, A. The role of innovation in achieving a sustainable future. **European Parliamentary Research Service**, 2015.

SMITH, K. A social trap for the climate? Collective action, trust and climate change risk perception in 35 countries, **Global Environmental Change**, v. 49, p. 140-153, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378017309585>. Acesso em: 14 jul. 2023.

SÖDERBAUM, P. Do we need a new economics for sustainable development? **Real-world economics review**, n. 80, 2017. Disponível em: <http://www.paecon.net/PAERreview/issue80/whole80.pdf#page=32>. Acesso em: 22 jul. 2023

SREBOTNJAK, T. Environmental Performance Index. **Wiley Online Library**. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118445112.stat03789>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781118445112.stat03789>. Acesso em: 12 jun. 2023.

STOCK, J. H.; WATSON, M. W. **A simple estimator of cointegrating vectors in higher order integrated systems.** *Econometrica*, v. 61, n. 4, p. 783-820, 1993.

STUSS, Magdalena . The Role of Innovation in Sustainable Development. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 20, 2023.

SWISS RE INSTITUTE. **The economics of climate change: no action not an option.** 2021. Disponível em: <https://www.swissre.com/institute/research/topics-and-risk-dialogues/climate-and-natural-catastrophe-risk/expertise-publication-economics-of-climate-change.html>. Acesso em: 14 maio 2023.

STACHOWIAK, N. S.; KOWALONEK, J.; KOZLOWSKA, J. Effect of plasticizer and surfactant on the properties of poly(vinyl alcohol)/chitosan films. *International Journal of Biological Macromolecules*, Vv.164, p. 2100-2107, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813020340885>. Acesso em 25 jun. 2023.

TERASVIRTA, T.; TJOSTHEIM, D.; GRANGER, W. J. C. **Modelling Nonlinear Economic Time Series.** Advanced Texts in Econometrics. Paperback. Published, 2011.

UNITED NATIONS (UNDP). **Sustainable development goals.** 2020. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/development-agenda/>. Acesso em 11 fev. 2023.

USHAKOV, D. S.; SHATILA, K. Environmental Performance of Countries in Dynamics of Economic Growth. In: *Climate-Smart Innovation. Social Entrepreneurship and Sustainable Development in the Environmental Economy.* p. 235-252, 2023.

VARELLA, S. R. D.; MEDEIROS, J. B. S.; SILVA JUNIOR, M.T. O desenvolvimento da teoria da inovação Schumpeteriana. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO, 32, 2012, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves, RS, 2012, p. 1-10. Disponível em: [https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2012\\_tn\\_sto\\_164\\_954\\_21021.pdf](https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2012_tn_sto_164_954_21021.pdf). Acesso em: 25 fev. 2023.

VIGLIONI, M.T.D., DE BRITO, M.J. & CALEGARIO, C.L.L. Innovation and R&D in Latin America and the Caribbean countries: a systematic literature review. **Scientometrics** 125, 2131–2167 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11192-020-03714-z>

VIZEU, F.; MENEGHETTI, F. K.; SEIFERT, R. E. For a critique of the concept of sustainable development. **Cad. EBAPE.BR**, v.10, n. 3, set 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cebape/a/r5yWQp4wykg5RWJN9pmxjQJ/?lang=pt>. Acesso em: 19 fev. 2023.

WANG, Z.; ZHANG, D.; WANG, B. Renewable energy consumption, economic growth and human development index in Pakistan: evidence form simultaneous equation model. **Journal of Cleaner Production**, v. 184, p. 1081–1090, 2018. Disponível em <<https://doi-org.ez66.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.jclepro.2018.02.260>> Acessado em Ago 2023.

WANG, W. et al. Does increasing carbon emissions lead to accelerated eco-innovation? Empirical evidence from China. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 251, p. 119690, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119690>. Disponível em <> Acessado em 18 jul 2023.

WICAKSANA, T. K. Effect of Trade Openness on the Environmental Performance Index in

Sub-Saharan Africa. **Journal of Economics and Policy**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.15294/jejak.v15i1.36948>. Acesso em: 14 ago. 2023.

WIEK, A.; WITHYCOMBE, L.; REDMAN, C. L. Key competencies in sustainability: A reference framework for academic program development. **Sustainability Science**, v. 6, n. 2, p. 203-218, 2011. Disponível em: doi: 10.1007/s11625-011-0132-6. Acesso em: 19 fev. 2023.

WIPO - World Intellectual Property Organization. **World Intellectual Property Indicators 2020**, 2022.

WORLD DATA BANK, **GDP (PIB) per capita**. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD>. Acesso em: 22 jan. 2023.

WU, W.; WANG, W.; ZHANG, M. Using China's provincial panel data exploring the interaction between socio-economic and Eco-environment system. **Ecological Complexity**, v.44, dec. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1476945X20301537>. Acesso em: 14 jul. 2023.

XU, L. I et al. Heterogeneous green innovations and carbon emission performance: evidence at China's city level. **Energy Econ.**, 99 Article 105269, 2021. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/eee/eneeco/v99y2021ics0140988321001742.html>. Acesso em: 14 jun. 2023.

YANG, Z. *et al.* Alleviating the misallocation of R&D inputs in China's manufacturing sector: From the perspectives of factor-biased technological innovation and substitution elasticity. **Technol. Forecast. Soc. Chang**, 151, Article 119878, 2020. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/338973592\\_Alleviating\\_the\\_misallocation\\_of\\_RD\\_inputs\\_in\\_China's\\_manufacturing\\_sector\\_From\\_the\\_perspectives\\_of\\_factor-biased\\_technological\\_innovation\\_and\\_substitution\\_elasticity](https://www.researchgate.net/publication/338973592_Alleviating_the_misallocation_of_RD_inputs_in_China's_manufacturing_sector_From_the_perspectives_of_factor-biased_technological_innovation_and_substitution_elasticity). Acesso em: 12 jul. 2023.

YANG, Z.; SHAO, S; FAN, M. Wage distortion and green technological progress: a directed technological progress perspective. **Ecol. Econ.**, 181, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921800920322035>. Acesso em; 14 jul. 2023.

YANG, Q. *et al.* The impact of China's high-speed rail investment on regional economy and air pollution emissions. **Journal of Environmental Sciences**, v. 131, p. 26-36, 2023.

YUEN, K. F. *et al.* Social media engagement of stakeholders in the oil and gas sector: Social presence, triple bottom line and source credibility theory. **Journal of Cleaner Production**, v.382, n. 135375, 2023.

ZAFAR, M. W.; SHAHBAZ, M.; SINHA, A.; SENGUPTA, T.; QIN, Q. How renewable energy consumption contribute to environmental quality? The role of education in OECD countries. **Journal of Cleaner Production**, v. 268, n. 122149, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965262032196X>. Acesso em: 17 jul. 2023.

## Capítulo II

### **Análise global da relação entre performance ambiental, desenvolvimento econômico e o Índice de Inovação através da Curva Ambiental de Kuznets**

**Resumo:** Este estudo investigou a interação entre PIB per capita, inovação tecnológica e desempenho ambiental em 102 países durante o período de 2008 a 2022, considerando a hipótese da Curva Ambiental de Kuznets (EKC) e o papel da inovação. O objetivo foi contribuir para a compreensão das complexas relações entre crescimento econômico, inovação e sustentabilidade ambiental, destacando a importância contínua da inovação no alcance de um desenvolvimento equilibrado. Ao aplicar a tradicional curva de Kuznets, foram identificados dois pontos de inflexão significativos na relação entre PIB per capita e desempenho ambiental, revelando um formato em N invertido. No entanto, ao introduzir a variável inovação, realizamos uma análise sob a ótica da EKC modificada, incorporando a Curva Claudia de Inovação (ICC) e adicionando uma dinâmica mais complexa. De acordo com essa modificação da curva pela inovação, foram identificados dois pontos de inflexão adicionais. O primeiro sugere que um aumento na inovação, até certo ponto, pode levar a um declínio no desempenho ambiental, devido à adoção de tecnologias avançadas e aumento da renda. No entanto, o segundo ponto indica uma melhoria notável em países com maior grau de inovação, ressaltando a importância de políticas que incentivem a inovação focada na sustentabilidade.

**Palavras-chave:** Performance ambiental. Desenvolvimento econômico. PIB. Inovação. Curva Ambiental de Kuznets.

**Abstract:** This study investigated the interaction between per capita GDP, innovation, and environmental performance in 102 countries during the period from 2008 to 2022. The study considered the hypothesis of the Environmental Kuznets Curve (EKC) and the role of innovation. The objective was to contribute to the understanding of the complex relationships between economic growth, innovation, and environmental sustainability, emphasizing the ongoing importance of innovation in achieving balanced development. Applying the traditional Kuznets Curve, two significant inflection points were identified in the relationship between per capita GDP and environmental performance, revealing a N-shaped pattern. However, when introducing the innovation variable, the analysis was conducted from the perspective of the modified EKC, incorporating the Claudia innovation curve (ICC) and adding a more complex dynamic. According to this innovation-modified curve, two additional inflection points were identified. The first point suggests that an increase in innovation, up to a certain point, may lead to a decline in environmental performance due to the adoption of advanced technologies and increased income. However, the second point indicates a notable improvement in countries with a higher degree of innovation, highlighting the importance of policies that encourage sustainability-focused innovation.

**Keywords:** Environmental performance. Economic development. GDP. Innovation. Kuz Environmental Curve.

## **1 Introdução**

A interação entre o crescimento econômico, inovação tecnológica e sustentabilidade ambiental é um tema de extenso estudo e debate na literatura acadêmica. Diversas pesquisas têm explorado essa relação complexa, buscando compreender como as variáveis do Produto Interno Bruto (PIB), inovação tecnológica e performance ambiental se comportam conjuntamente (WANG *et al.*, 2020; FERNANDES, 2021; MUGHAL *et al.*, 2021; PENA, 2022; WANG *et al.*, 2023). Essa análise é fundamental para encontrar formas de promover um desenvolvimento equilibrado, que impulse a economia e, ao mesmo tempo, assegure a preservação do meio ambiente (MENSAH, 2019).

A performance ambiental abrange diferentes aspectos interligados, como o estilo de desenvolvimento econômico, a institucionalidade ambiental e a geração de impactos ambientais (RAWORTH, 2019; SIMÕES, 2021). O Índice de Performance Ambiental é uma medida que busca avaliar e quantificar o desempenho de um país, região ou organização em termos de suas práticas e resultados relacionados à sustentabilidade ambiental. Esse índice considera uma variedade de indicadores e critérios, como emissões de gases de efeito estufa, qualidade do ar, gestão de resíduos, uso de recursos naturais, conservação da biodiversidade e políticas ambientais (ESTY *et al.*, 2005).

Nesse sentido, um índice ambiental construído por meio da fusão de vários indicadores ambientais pode ser um bom substituto para examinar as condições ambientais gerais de um país (JONES; FREDRICKSEN; WATES, 2002; ADEEL-FAROOQ; BAKAR; RAJI, 2018; ADEEL-FAROOQ; RAJI; QAMRI, 2023). Permitindo, portanto, uma análise abrangente de como a capacidade inovativa e o crescimento econômico de cada país pode influenciar no desempenho ambiental geral de cada nação.

Nessa linha, estudos destacam a relação entre o crescimento econômico e a degradação ambiental, indicando uma associação inicialmente positiva entre o PIB per capita e as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (ACEMOGLU *et al.*, 2012; WANG; ZHANG; WANG, 2018; BEKUN; ALOLA; SARKODIE, 2019). No entanto, outras pesquisas também sugerem um padrão em forma de U invertido na relação entre o crescimento econômico e a degradação ambiental (FERNANDES, 2021; PENA, 2022), bem como, em longo prazo, um formato em N, entre o PIB per capita e a poluição ambiental (ACEMOGLU *et al.*, 2012; ZHANG *et al.*, 2017; SARPONGE BEIN, 2020; DASGUPTA; BALDWIN; STEINBERG, 2021; WANG *et al.*, 2023). Nesse contexto, surge a hipótese da Curva Ambiental de Kuznets (EKC), a qual propõe que o crescimento da produção está associado a um aumento inicial na degradação ambiental, mas à medida que os países avançam em seus estágios de desenvolvimento, ocorre uma reversão dessa relação, resultando em melhorias na

performance ambiental (BALSALOBRE-LORENTE *et al.*, 2019).

Além do PIB, a inovação tecnológica desempenha papel fundamental na relação entre o crescimento econômico e a performance ambiental (SEHNEM *et al.*, 2015; FERNANDES, 2021; WICAKSANA, 2022). Nesse sentido, vários estudos, incluindo os de Mensah *et al.* (2018), Dauda *et al.* (2021), Khan e Khan (2022), Chhabra, Giri e Kumar (2022) e Gao e Fan (2023), têm proposto uma abordagem modificada da Curva Ambiental de Kuznets, denominada *Innovation Claudia Curve* (Curva Claudia de Inovação), para melhor explicar a relação entre desenvolvimento econômico, inovação e poluição ambiental. Nessa perspectiva, a relação entre essas variáveis é considerada não linear e descrita como quadrática. Ou seja, à medida que a inovação aumenta, as emissões de poluentes também aumentam inicialmente, pois novas tecnologias podem ser implementadas sem uma consideração completa de seu impacto ambiental.

Por sua vez, conforme o desenvolvimento econômico aumenta essa relação muda. Ao mesmo tempo, à medida que os países continuam a desenvolver e aprimorar suas inovações se dá o surgimento de tecnologias mais sustentáveis e ecoeficientes. Como resultado, a persistência do aumento das inovações começa a reduzir gradualmente a poluição, permitindo que a economia alcance um ponto de inflexão em que a poluição começa a diminuir (ZHANG *et al.*, 2017; DAUDA *et al.*, 2021; DASGUPTA; BALDWIN; STEINBERG, 2021; CHHABRA; GIRI; KUMAR, 2022). Essa abordagem ressalta a importância da inovação no contexto do desenvolvimento econômico e da sustentabilidade ambiental, enfatizando a necessidade contínua de buscar soluções inovadoras para alcançar o equilíbrio entre crescimento econômico e proteção ambiental (KHAN; KHAN, 2022). Baseando-se nas reflexões enunciadas, emerge a seguinte questão norteadora: como as três variáveis – PIB per capita, inovação tecnológica e performance ambiental - se comportam conjuntamente sob a ótica da Curva Ambiental de Kuznets?

## **2 Referencial teórico**

### **2.1 PIB e performance ambiental**

A performance ambiental é um conceito derivado do Environmental Performance Index (EPI), ou Índice de Performance Ambiental em português. O EPI é um índice que se baseia em medidas de tratados e convenções ambientais globais e utiliza 40 indicadores de desempenho distribuídos em 11 categorias temáticas (SREBOTNJAK, 2014). Ele tem como

objetivo avaliar o desenvolvimento humano dos países, considerando sua performance em áreas como mudanças climáticas, saúde ambiental e vitalidade dos ecossistemas. Quanto menor for a degradação ambiental e quanto menores forem os impactos negativos, melhor será a classificação no EPI (EPI, 2022).

Autores como Raworth (2019) e Simões (2021) destacam que a degradação ambiental é um tema amplamente discutido no meio acadêmico, influenciada pela relação entre consumo, geração de renda e distribuição de recursos em um país, em resposta ao crescimento econômico global e à industrialização (KHAN; KHAN, 2022). Portanto, alcançar o desenvolvimento sustentável com boa performance ambiental é um desafio enfrentado por muitos países, especialmente os emergentes e em desenvolvimento, os quais buscam promover o crescimento social e econômico. No entanto, esse crescimento econômico em incessante ascensão tem colaborado para um aumento no consumo de energia e, conseqüentemente, em emissões de carbono, afetando negativamente a qualidade ambiental e levando a uma baixa performance ambiental (TARIQ *et al.*, 2017).

Estudos demonstram que o aumento do Produto Interno Bruto (PIB) per capita está associado com maiores emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), indicando uma relação positiva inicial entre crescimento econômico e degradação ambiental (ACEMOGLU *et al.*, 2012; WANG; ZHANG; WANG, 2018; BEKUN; ALOLA; SARKODIE, 2019). No entanto, pesquisas também sugerem um padrão em forma de U invertido na relação entre crescimento econômico e degradação ambiental (FERNANDES, 2021; PENA, 2022). A hipótese da Curva Ambiental de Kuznets (EKC) é uma teoria amplamente conhecida que explora esse fenômeno, sugerindo que, à medida que os países avançam em seus estágios de desenvolvimento, ocorra uma reversão na relação entre crescimento econômico e degradação ambiental, levando em uma melhoria na performance ambiental (BALSALOBRE-LORENTE *et al.*, 2019).

Todavia, a relação entre PIB e performance ambiental varia de maneira complexa entre os países e é influenciada por diversos fatores, como políticas governamentais, inovação tecnológica e adoção de práticas sustentáveis. A inovação desempenha um papel fundamental nessa equação, pois pode tanto aumentar quanto reduzir os impactos ambientais, dependendo de como é direcionada. Em vista disso, é essencial considerar não apenas o PIB, mas também outros fatores, como inovação e políticas ambientais, quando for analisada a performance ambiental de uma nação (KOHLENER; TURNHEIM; HOSDON, 2020).

## 2.2 A inovação e performance ambiental

A inovação desempenha papel fundamental na interligação entre o crescimento econômico e a performance ambiental. Investimentos em inovação têm contribuído significativamente para a melhoria da qualidade ambiental em muitos países (MENSAH *et al.*, 2018). Tanto a Teoria IPAT (Impactos da População, Afluência e Tecnologia) quanto a Teoria Otimista da Cornucópia destacam que o crescimento econômico nos países em desenvolvimento estimula a introdução subsequente de inovações tecnológicas pela população, resultando em práticas de produção mais limpas e, conseqüentemente, na melhoria da qualidade ambiental, promovendo melhor performance (FERNANDES, 2021; WICAKSANA, 2022).

A Teoria Otimista da Cornucópia, proposta pelo economista Julian Lincoln Simon, enuncia que os recursos naturais são considerados abundantemente disponíveis e que a inovação tecnológica é capaz de superar qualquer escassez ou problema ambiental que possa surgir. Essa teoria enfatiza o avanço tecnológico e a criatividade humana como facilitadores para a resolução de desafios ambientais, garantindo o suprimento contínuo de recursos e o desenvolvimento econômico (SIMON, 1981; SIMON, 1996).

Por outro lado, a Teoria IPAT busca compreender a relação entre crescimento populacional, nível de consumo per capita e tecnologia como determinantes dos impactos ambientais. Segundo essa teoria, o impacto ambiental resulta da interação entre população, consumo per capita e tecnologia, representada pela fórmula IPAT. A Teoria IPAT enfatiza que o crescimento populacional e o aumento do consumo individual exercem pressão sobre os recursos naturais e geram impactos ambientais, enquanto a tecnologia pode tanto agravar quanto mitigar tais impactos (EIBINGER; DEIXELBERGER; MANNER, 2023).

Compreende-se, portanto, que ambas as teorias oferecem perspectivas diferentes sobre a relação entre recursos naturais, desenvolvimento econômico e sustentabilidade ambiental. Isto é, enquanto a Teoria Otimista da Cornucópia destaca o papel fundamental da inovação tecnológica na superação de desafios ambientais, a Teoria IPAT ressalta a importância de considerar o crescimento populacional e o consumo per capita como fatores influentes nos impactos ambientais.

Apesar dessas divergências, a adoção de práticas inovadoras tem proporcionado aos países a capacidade de reduzir seu impacto ambiental negativo, levando a melhorias na performance ambiental, como evidenciado em várias pesquisas (SEHNEM *et. al.*, 2015; HORBACH; RAMMER, 2019; WICAKSANA, 2022).

Outra abordagem teórica a considerar é o modelo modificado de inovação da Curva

Ambiental de Kuznets, também conhecido como *Innovation Claudia Curve theory*. Essa teoria busca explicar a relação entre inovação e poluição ambiental, sugerindo uma dinâmica não linear representada por uma curva em formato de U invertido (MENSAH *et al.*, 2018).

De acordo a teoria supracitada, o aumento do nível de inovação inicialmente pode resultar em um aumento nas emissões de poluentes devido à limitada acessibilidade às novas tecnologias. Quando as inovações são incipientes e pouco difundidas é provável que ocorram maiores impactos ambientais, principalmente se as tecnologias mais desenvolvidas postergarem a sustentabilidade ambiental.

No entanto, à medida que a inovação continua a avançar e mais tecnologias e processos são patenteados, ocorre o fenômeno conhecido como transbordamento tecnológico (MENSAH *et al.*, 2018). Com base nos autores, o transbordamento tecnológico acontece quando as inovações desenvolvidas para mitigar a poluição e melhorar a qualidade ambiental em um setor específico começam a se espalhar e ser aplicadas em outros setores e indústrias.

Conseqüentemente, o aumento contínuo da inovação, aliado à adoção e disseminação dessas tecnologias ambientalmente amigáveis, resulta em uma redução gradual das emissões de poluentes (GAO; FAN, 2023). Essa etapa descendente da curva em formato de U invertido sugere que a inovação pode desempenhar um papel fundamental na promoção da sustentabilidade e na redução dos impactos ambientais negativos.

Dessa forma, a capacidade de um país em inovar contribui para a redução da utilização de recursos naturais, minimização de resíduos e diminuição das emissões de gases de efeito estufa, entre outros impactos ambientais negativos, melhorando, portanto, a performance ambiental dos países (WANG; ZHANG; WANG, 2018).

A partir desse ponto, é possível inferir uma possível variação teórica da Curva Ambiental de Kuznets, uma vez que a partir da adoção de práticas inovadoras, pode-se iniciar um processo de mitigação dos impactos negativos do desenvolvimento econômico. No entanto, é importante ressaltar, conforme mencionado por Khan e Khan (2022), que a inovação não se restringe apenas às melhorias tecnológicas, mas também envolve mudanças nos processos de gestão e nas estratégias organizacionais.

Nesse sentido, estudos como os de Sehnem *et al.* (2015), Mensah *et al.* (2018), Mughal *et al.* (2021), Fernandes (2021), Wicaksana (2022), Pena (2022) e Gao e Fan (2023) ressaltam que a inovação tecnológica e a implementação de políticas ambientais são essenciais para reduzir a pegada ambiental das atividades econômicas.

### 2.3 PIB, inovação e performance ambiental

Com a adoção de tecnologias limpas, eficiência energética e práticas sustentáveis, é possível conciliar o crescimento econômico com o aumento da performance ambiental (CARRILLO-HERMOSILLA; DEL RIO; KONNOLA, 2010). Logo, a relação entre o desenvolvimento econômico e a qualidade ambiental, resultando na melhor performance ambiental, tem sido amplamente explorada por pesquisadores, como indicado por Zhang *et al.* (2017).

Nas últimas décadas, a dinâmica que envolve o crescimento econômico e seus impactos no meio ambiente tem sido objeto de estudo em diversas pesquisas conduzidas por acadêmicos como Mughal *et al.* (2021), Dasgupta, Baldwin e Steinberg (2021), Simões (2021), Fakher *et al.* (2023) e Gao e Fan (2023). Adicionalmente, Numan (2022) enfatiza que a introdução de tecnologias limpas, como energias renováveis e sistemas avançados de reciclagem, desempenha um papel crucial na redução dos impactos ambientais, especialmente em estágios avançados de desenvolvimento econômico.

Através da implementação de processos e práticas inovadoras, tanto empresas quanto sociedades podem atingir um ponto de inflexão no qual a trajetória de redução dos impactos ambientais se inicia, como observado por Wang *et al.* (2020). Shahbaz, Nasir e Rouband (2018) argumentam que o conhecimento e o desenvolvimento tecnológico podem levar à adoção de práticas mais sustentáveis e menos poluentes.

De acordo com Paramati, Alam e Chen (2016) e Luo *et al.* (2017), o uso inicial de tecnologia pode estar associado ao crescimento econômico e ao aumento da degradação ambiental. No entanto, com o avanço tecnológico, as técnicas aplicadas tendem a se tornar menos intensivas, resultando na redução na degradação. Balsalobre-Lorente *et al.* (2019) identificam um efeito positivo da globalização na melhoria do meio ambiente e na promoção de um crescimento econômico sustentável, uma vez que ocorre a disseminação de tecnologias ambientalmente amigáveis e melhores práticas em países em desenvolvimento.

A relação entre o aumento do crescimento econômico e as emissões de CO<sub>2</sub> é complexa. No entanto, inovações tecnológicas têm demonstrado a capacidade de reduzir as emissões de carbono produzidas durante a produção, como observado por Bekun, Alola e Sarkodie (2019). Recentemente, Numan (2022) destacou a relação entre o emprego de tecnologias e o aumento do uso de energia renovável, o que pode inibir as emissões de poluentes. Portanto, Khan e Khan (2022) argumentam que as inovações desempenham papel crucial no crescimento econômico e social, representando possível remédio para enfrentar os desafios relacionados ao crescimento econômico e à degradação ambiental em muitos países.

Os estudos de Zafar *et al.* (2020), Adebayo, Adedoyin e Kirikkaleli (2021), Chien *et*

*al.* (2021) e Suki *et al.* (2022) complementam tais discussões, destacando que a inovação tecnológica e o uso de energia renovável têm o potencial de reduzir significativamente as emissões de CO<sub>2</sub>, melhorando assim a qualidade ambiental e aumentando o desempenho ambiental. Eles enfatizam que o consumo de energia renovável, o crescimento econômico e a inovação tecnológica estão diretamente relacionados às emissões de carbono baseadas no consumo.

Em outra perspectiva, Mensah *et al.* (2018) propuseram que a inovação deveria ser incorporada ao contexto da Curva Ambiental de Kuznets, a fim de oferecer uma explicação mais abrangente para a relação complexa entre desenvolvimento econômico, inovação e poluição ambiental.

#### 2.4 Curva Ambiental de Kuznets modificada

A hipótese da Curva Ambiental de Kuznets (EKC) é uma teoria amplamente conhecida que explora o crescimento da poluição. Essa hipótese propõe que o crescimento da produção inicialmente está associado ao aumento na degradação ambiental, mas à medida que os países avançam em seus estágios de desenvolvimento, ocorre uma reversão dessa relação, resultando na redução da poluição, refletindo na melhor performance ambiental (BALSALOBRE-LORENTE *et al.*, 2019).

Grossman e Krueger (1991) propuseram uma teoria de que mudanças no PIB per capita provocam dois tipos de efeitos. De acordo com os autores, inicialmente, o desenvolvimento econômico traz atividades econômicas de larga escala e demandas de recursos, resultando em um efeito negativo na qualidade ambiental. No entanto, os processos se desenvolvem e as estruturas econômicas melhoram em conformidade com o crescimento, formando uma curva em forma de U invertido entre o desenvolvimento econômico e a qualidade ambiental devido à superposição dos dois efeitos (SHABAZ E SINHA, 2019).

Como já evidenciado nesse estudo, a literatura EKC baseia-se, em sua maioria, na hipótese da ligação entre degradação ambiental e PIB em forma de U, contudo, os resultados empíricos são inconclusivos, uma vez que, a maioria dos países desenvolvidos com altos níveis de renda per capita ainda podem ser paraísos da poluição, gerando uma curva em forma de N (BALSALOBRE-LORENTE *et al.*, 2019). Corroboram Zafar *et al.* (2020), Adebayo, Adedoyin e Kirikkaleli (2021); Chien *et al.* (2021) e Suki *et al.* (2022), defendendo a existência de outras variáveis como a inovação que pode afetar a qualidade ambiental e deve ser incluída no modelo EKC, dando origem à EKC modificada.

A EKC modificada, também chamada de *innovation Claudia curve* (ICC), que pode ser traduzida para Curva Claudia de Inovação, diz que o aumento das inovações leva ao aumento nas emissões de poluentes, mas a persistência do aumento das inovações implica na redução gradual da poluição. Nessa perspectiva, a inovação deveria ser considerada no contexto da Curva Ambiental de Kuznets como forma de melhor explicar a poluição ambiental e, por consequência, a performance ambiental dos países (KHAN; KHAN, 2022).

Dos estudos encontrados por Dauda *et al.* (2021), a maioria se concentra na relação linear entre inovação e emissões de CO<sub>2</sub> em países desenvolvidos, uma vez que a análise em países menos desenvolvidos é considerada inadequada, pois o baixo PIB dificulta na geração de inovação. Assim, na literatura, são encontrados estudos que usam a economia da Irlanda, como o de Kohler, Turnheim e Hosdon (2020), por exemplo, os quais afirmam que a inovação aumenta a eficiência energética e, conseqüentemente, reduz as emissões de CO<sub>2</sub>.

O fato é que os países estão acelerando o crescimento econômico (APERGIS; GARCÍA, 2019). Para Mensah *et al.* (2018), assim como para Dauda *et al.* (2021), Khan, Weili e Khan (2021), Chhabra, Giri e Kumar (2022) e Gao e Fan (2023) a relação entre as variáveis desenvolvimento econômico, inovação e poluição ambiental é não linear e é descrita como quadrática, ou seja, enquanto alguns países experimentaram altas emissões de CO<sub>2</sub> devido ao aumento de tecnologias avançadas, outros, identificam que um aumento em inovações tecnológicas reduz significativamente as emissões de CO<sub>2</sub> (SINHA; SHAHBAZ, 2018). Segundo Khan e Khan (2022), o nível de inovações, crescimento econômico e emissão de CO<sub>2</sub> pode variar entre os países e o efeito das inovações e do consumo de energia renovável na qualidade ambiental, afetando a performance ambiental dos países, pode ser diferente e precisa ser constantemente analisado.

Além disso, o termo quadrado da inovação dá um coeficiente negativo considerável, o que indica a redução nas emissões de CO<sub>2</sub> até atingir determinado nível. Confirmando a ICC e indicando que o transbordamento de tecnologia e conhecimento reduz a emissão, enquanto no estágio inicial a inovação aumenta a emissão (KHAN; KHAN, 2022). Ou seja, um aumento nas atividades econômicas por meio da produção aumenta a demanda de energia e, portanto, leva a altas emissões de CO<sub>2</sub>. Por sua vez, Dauda *et al.* (2021) afirma que as inovações podem ser úteis para aumentar a eficiência energética e adquirir fontes de energia renováveis para serem usadas na produção e alcançar o crescimento sustentável.

### **3 Metodologia**

### 3.1 Variáveis da pesquisa

O presente estudo busca analisar a relação existente entre a performance ambiental, a inovação e o PIB per capita de 102 países entre os anos de 2008 e 2022 (em bases bianuais).

#### 3.1.1 Índice de Performance Ambiental (EPI)

O Índice de Performance Ambiental é uma valiosa medida que busca avaliar e quantificar o desempenho ambiental de países, regiões ou organizações, analisando suas práticas e resultados em termos de sustentabilidade. O referido índice é composto por dois objetivos principais: saúde ambiental e vitalidade do ecossistema (ADEEL-FAROOQ; RAJI; QAMRI, 2023). Além desses objetivos, outros nove indicadores ambientais, como: qualidade do ar, água e saneamento, reservatórios de água, agricultura, pesca, biodiversidade, florestas, energia e clima, são utilizados para medir o impacto das ações no meio ambiente. Através da avaliação de vinte subindicadores de meio ambiente (vide Figura 3), é possível obter uma visão abrangente e holística dos esforços para preservar a natureza e garantir a qualidade do ambiente para as gerações futuras.

Environmental Performance Indicator (EPI)									
Ecosystem Vitality 42%			Environmental Health 20%						
Biodiversity & Habitat	18%	Biome Protect (Natic	Waste Management	2%	Ocean Plastics	0,50%			
		Biome Protect (Glob.			Recycling	0,50%			
		Marine Protect Area			Solid Waste	1,00%			
		PARI			Heavy Metals	2%	Lead	2,00%	
		BHI			Sanitation & Drinking Water	5%	Drinking Water	3,00%	
		SPI					Sanitation	2,00%	
Ecosystem Services	8%	SHI	Air Quality	11%	VOCs	0,20%			
		Tree Cover Loss			CO	0,20%			
		Grassland Loss			SO2	0,20%			
Fisheries	5%	Wetland Loss			Nox	0,50%			
		Stock Status			O3	0,50%			
		MTI			Household Solid Fuels	4,20%			
Acid Rain	4%	Trawling & Dredging			Climate Change Mitigation	38%	PM25	5,20%	
		SO2 Trend					Climate Change		38%
		Nox Trend					Co2	13,80%	
Agriculture	4%	SNMI	CH4	3%					
		Pesticides	N2O	1%					
Water Resources	3%	Wastewater	3,00%	F-Gas			0,70%		
				Climate Change Mitigation			Black Carbon	1,00%	
							Projected GHG Emissions in	13,80%	
							Land cover	1,50%	
							GHG Int.	1,50%	
GHG/pop.	1,00%								

Figura 3 – Framework EPI.  
 Fonte: Adaptado de EPI report, 2022.

A Figura 3 é um *framework* que explica a composição do EPI. Nela, é possível identificar que na avaliação de performance 42% diz respeito à vitalidade do ecossistema do país analisado, seguido de 38% das mudanças climáticas e, por fim, 20% da saúde ambiental, resultando em uma medida em escala nacional de quão próximos os países estão das metas de políticas ambientais estabelecidas. Vale ressaltar que existem diferentes índices de performance ambiental desenvolvidos por diferentes instituições e pesquisadores, cada um com suas metodologias e focos específicos. Nessa pesquisa foi utilizado o Índice de Performance Ambiental (EPI) desenvolvido pela Universidade de Yale, o qual é calculado a cada dois anos. A escolha deu-se pela ampla gama de indicadores ambientais utilizados no índice, fornecendo uma visão abrangente da performance ambiental de cada país.

### 3.1.2 Índice de Inovação e desenvolvimento econômico

O nível de inovação de cada país foi medido usando o Índice Global de Inovação (IGI), que é um dos principais indicadores para avaliar o ambiente de inovação em cada país. O IGI utiliza uma variedade de critérios, como investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D), colaboração entre empresas e universidades e propriedade intelectual (WIPO, 2022). Os dados de inovação foram obtidos no WIPO (2022).

Por outro lado, o desenvolvimento econômico foi medido utilizando o Produto Interno Bruto (PIB) per capita, com os dados obtidos no World Data Bank (2023). Para garantir a estacionariedade dos dados, calculou-se a variação percentual do PIB per capita a cada dois anos.

## 3.2 O modelo da Curva Ambiental de Kuznets

Alguns estudos empíricos como os de Bagliani, Bravo e Dalmazone (2008), Uddin, Alam e Gow (2016), Bakirtas e Cetin (2017), Thompson e Jeffords (2017) e de Yu e Lu (2018), destacam que os modelos que podem ser usados para avaliar a relação entre a poluição ambiental e o crescimento econômico, são principalmente de três tipos: modelo linear, quadrático e cúbico, como demonstrado, respectivamente, nas equações 1, 2 e 3:

$$y_{i,t} = \phi_0 + \phi_1 PIB_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (1)$$

$$y_{i,t} = \phi_0 + \phi_1 PIB_{i,t} + \phi_2 PIB_{i,t}^2 + \varepsilon_i \quad (2)$$

$$y_{i,t} = \phi_0 + \phi_1 PIB_{i,t} + \phi_2 PIB_{i,t}^2 + \phi_3 PIB_{i,t}^3 + \varepsilon_i \quad (3)$$

onde,  $y_i$  denota o Índice de Performance Ambiental de cada país  $i$ ;  $PIB_i$  denota o produto interno bruto per capita (PIB per capita) de cada país  $i$ , e  $\varepsilon_i$  denota um termo de perturbação aleatório. Quando  $\phi_1 \neq 0$ ,  $\phi_2 = \phi_3 = 0$ , a relação entre  $y$  e o PIB per capita é linear. Quando  $\phi_1 > 0$ ,  $\phi_2 < 0$ , a relação entre  $y$  e o PIB per capita segue uma curva em forma de U invertido. Quando  $\phi_1 < 0$ ,  $\phi_2 > 0$ , a relação entre  $y$  e o PIB per capita segue uma curva em forma de U. Quando  $\phi_1 > 0$ ,  $\phi_2 < 0$  e  $\phi_3 > 0$ , a relação entre  $y$  e o PIB per capita é em forma de N. Quando  $\phi_1 < 0$ ,  $\phi_2 > 0$  e  $\phi_3 < 0$ , a relação entre  $y$  e o PIB per capita seguem um formato de N invertido. Quando  $\phi_1 \neq \phi_2 = \phi_3 = 0$  o status das emissões de poluentes é tal que não está relacionado ao crescimento econômico. Para a determinação dos pontos de mínimo e máximo relativos, calculou-se a derivada primeira e a derivada segunda, respectivamente, conforme demonstrado nas equações 4 e 5.

$$d_1 = \frac{\theta_1}{(-2 \times \theta_2)} \quad (4)$$

$$d_2 = \frac{\theta_2}{(-3 \times \theta_3)} \quad (5)$$

em  $d_1$  é a derivada primeira, a qual pode ser utilizada nas equações 1 ou 2 e  $d_2$  é a derivada segunda da equação 2. Neste sentido,  $d_1$  indica o ponto de mínimo ou de máximo das equações 1 ou 2 e  $d_2$  indica o segundo ponto de mínimo ou de máximo da equação 2. Tais pontos auxiliam na interpretação da Curva Ambiental de Kuznets, uma vez que indicam os momentos em que cada função muda de crescimento para decrescimento (ou vice-versa), indicando mudança de comportamento entre as variáveis.

### 3.3 O modelo da Curva Ambiental de Kuznets modificado

Para Sharif (2019), quando as regulamentações ambientais são rigorosas é promovida uma produção mais limpa através da inovação, melhorando a performance ambiental. Em contrapartida, Zafar *et al.* (2020) defende que a inovação tecnológica pode afetar as alterações climáticas ao trazer tecnologia energeticamente eficiente e inovação no domínio da energia.

Corroborando com o exposto supra, a teoria da Curva de Claudia de Inovação, ou

Kuznets modificada, foi testada por Khan e Khan (2022), afirmando que, devido à acessibilidade limitada, o aumento das inovações voltadas à mitigação de dióxido de carbono aumenta inicialmente as emissões, contudo, após certo tempo as emissões de CO<sub>2</sub> reduzem gradualmente.

Por sua vez, o presente estudo, focando no IGI para representar a inovação como uma variável a ser inserida na teoria da Curva Ambiental de Kuznets e o EPI como o índice representante do nível de qualidade ambiental de cada país. Assim como, Khan e Khan (2020) adaptam a teoria já existente e passa a analisar a equação da seguinte maneira:

$$y_{i,t} = \varphi_0 + \varphi_1 PIB_{i,t} + \varphi_2 IGI_{i,t} \quad (6)$$

Na equação 6 foram utilizadas as variáveis PIB para representar o crescimento econômico, conforme a hipótese EKC e inserida a inovação (IGI) para capturar todas as características do ambiente e da inovação e testar a CCI. Além disso,  $y_i$  denota o Índice de Performance Ambiental (EPI). Sob a ótica da Hipótese da Curva Ambiental de Kuznets, espera-se que o efeito do crescimento econômico sobre o EPI seja negativo, na fase inicial de desenvolvimento econômico. Por outro lado, de acordo com a CCI, para países com baixos níveis de inovação espera-se um impacto positivo na performance ambiental na medida em que ocorre o aumento do nível de inovação do país (KHAN; KHAN, 2022). Já na equação abaixo (7 e 8), além do termo quadrático e cúbico do PIB, tem-se o quadrado e o cúbico do IGI:

$$y_{i,t} = \theta_0 + \theta_1 PIB_{i,t} + \theta_2 PIB_{i,t}^2 + \varphi_1 IGI_{i,t} + \varphi_2 IGI_{i,t}^2 + \varepsilon_{i,t} \quad (7)$$

$$y_{i,t} = \theta_0 + \theta_1 PIB_{i,t} + \theta_2 PIB_{i,t}^2 + \theta_3 PIB_{i,t}^3 + \varphi_1 IGI_{i,t} + \varphi_2 IGI_{i,t}^2 + \varphi_3 IGI_{i,t}^3 + \varepsilon_{i,t} \quad (8)$$

A relação entre inovação, crescimento econômico e performance ambiental é frequentemente caracterizada por não linearidades, como evidenciado por diversos estudos acadêmicos. Cita-se como exemplo o estudo de Shabaz e Sinha (2019) que revisou a literatura sobre a Curva Ambiental de Kuznets para as emissões de CO<sub>2</sub>, destacando uma relação complexa e não linear entre crescimento econômico, inovação e redução da performance ambiental. Essas descobertas ressaltam a importância de uma abordagem cuidadosa ao analisar as relações entre inovação, crescimento econômico e performance ambiental, como salientado por Sinha e Shahbaz (2018).

#### 4 Resultados e discussões

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU, 2023), o planeta Terra, tem uma população estimada de mais de 7,9 bilhões de habitantes. Neste estudo, foram utilizados dados secundários do período de 2008 a 2022, selecionando-se uma amostra de 102 nações e limitada à disponibilidade dos dados. Nesses países residem cerca de 60% da população total do planeta. A seleção dos países é destacada em verde, conforme mostra a Figura 4.

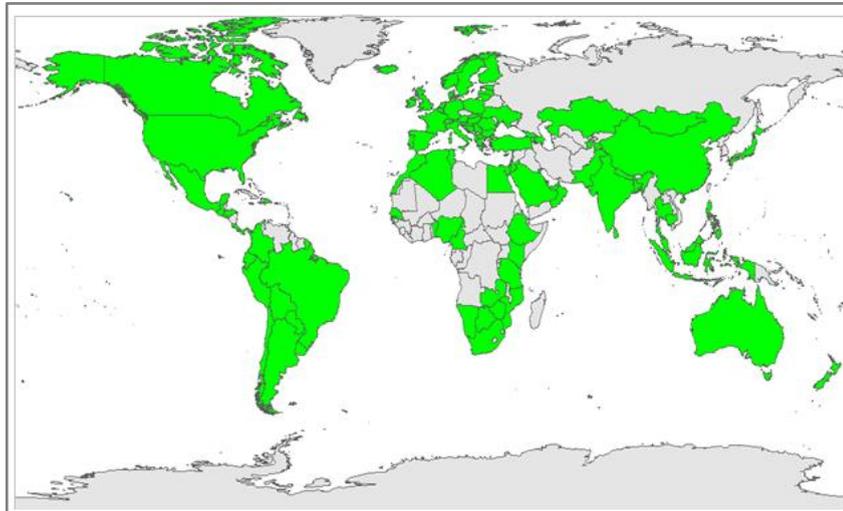


Figura 4 – Países analisados.  
Fonte: Elaboração própria (2023).

É possível identificar alguns padrões geográficos e econômicos nos países analisados, uma vez que 39 deles estão localizados na Europa, representando 89% da região europeia. A Europa é conhecida por sua diversidade econômica e tecnológica, com diferentes níveis de crescimento econômico e diferentes graus de transferência de tecnologia ambiental por país (FERREIRA *et al.*, 2019).

Por sua vez, no continente americano, foram identificados 18 países situados na América do Sul e Central, representando 95% desta região heterogênea, caracterizada por uma ampla gama de níveis de desenvolvimento. Alguns países são altamente desenvolvidos, enquanto outros ainda enfrentam desafios significativos em termos de desenvolvimento econômico e social (ONU, 2023).

Já na América do Norte, apenas dois países foram analisados, representando 14% do continente, conhecido por seu alto grau de inovação e influência econômica significativa.

Além dos países referidos, foram analisados 24 países na Ásia, representando 49% desta região dinâmica com papel crescente na economia global ampla variedade de países, culturas e sistemas econômicos, onde a situação varia significativamente de um lugar para outro. Há ainda a presença de dois países da Oceania, Austrália e Nova Zelândia, que são

considerados insulares, e que se destacam por suas práticas ambientais e tecnológicas avançadas, além de uma boa economia. Esses países representam 14% da região (ONU, 2023). E por fim, também é importante mencionar a presença de 17 países do continente africano, representando 31% dessa área. O desenvolvimento sustentável e a inovação nessa região estão em crescimento, no entanto, significativos desafios ambientais requerem uma abordagem holística e colaborativa (ONU, 2023).

Essas observações preliminares ressaltam a diversidade e as possíveis disparidades entre os países em termos de desempenho ambiental, inovação e desenvolvimento econômico. Assim, em busca de *insights* e orientações para promover a sustentabilidade e o desenvolvimento global, torna-se importante identificar como as variáveis – PIB per capita, inovação tecnológica e performance ambiental – interagem sob a ótica da Curva Ambiental de Kuznets. A Tabela 7 identifica tal comportamento.

**Tabela 7** - Coeficientes e significância dos coeficientes dos modelos de regressão com efeitos fixos da variável exógena Índice de Performance Ambiental e variáveis endógenas: PIB per capita, PIB per capita ao quadrado e PIB per capita ao cubo, nas formas linear, quadrática e cúbica, em bases bianuais no período de 2008 a 2022

Modelo	Variável	Coefficiente	Erro padrão	z	p-valor	Sig.
Linear	Constante	6,15E+01	1,92E+00	3,21E+01	2,16E-140	***
	PIB per capita	-2,15E-04	9,55E-05	-2,25E+00	2,48E-02	**
Quadrático	Constante	6,77E+01	3,48E+00	1,95E+01	5,12E-68	***
	PIB per capita	-7,26E-04	2,57E-04	-2,82E+00	5,00E-03	***
	PIB per capita ao quadrado	4,13E-09	1,93E-09	2,14E+00	3,31E-02	**
Cúbico	Constante	7,35E+01	4,22E+00	1,74E+01	5,51E-57	***
	PIB per capita	-1,49E-03	4,06E-04	-3,68E+00	3,00E-04	***
	PIB per capita ao quadrado	1,98E-08	6,70E-09	2,95E+00	3,30E-03	***
	PIB per capita ao cubo	-8,69E-14	3,56E-05	-2,44E+00	1,51E-02	**

Legenda: \* significância de 10%; \*\* significância de 5%; \*\*\* significância de 1%.

Fonte: elaboração própria (2023).

Observa-se na Tabela 7 os resultados da modelagem da Curva Ambiental de Kuznets em três modelos com diferentes graus de complexidade (linear, quadrático e cúbico) que relacionam a variável exógena Índice de Performance Ambiental, com as variáveis endógenas, como: PIB per capita, PIB per capita ao quadrado e PIB per capita ao cubo.

Para tanto, nessa pesquisa, tem-se o valor Z como uma medida da estatística de teste que avalia a significância estatística dos coeficientes e o p-valor (*p-value*) indicando a probabilidade de observar o resultado se a hipótese nula (a ausência de relação) fosse verdadeira. Assim, tais resultados sugerem que a relação entre o PIB per capita, sua variação quadrática e cúbica e o Índice de Performance Ambiental é estatisticamente significativa em

todos os modelos, uma vez que todos os resultados de p-valor foram  $<0.05$ .

Destaca-se que para todos os três modelos (linear, quadrático e cúbico), rejeitou-se a hipótese nula do teste de Hausman, sugerindo que os efeitos fixos são apropriados para cada um dos modelos. Isso implica que os efeitos fixos são mais relevantes do que os efeitos aleatórios para explicar a variação no Índice de Performance Ambiental.

O modelo linear, o mais simples dos três, revela que o PIB per capita tem um impacto negativo no Índice de Performance Ambiental. Em outras palavras, à medida que a renda per capita aumenta, o desempenho ambiental tende a diminuir, indicando possível relação de poluição associada ao crescimento econômico.

Por outro lado, o modelo quadrático aprofunda a análise adicionando um termo quadrático para o PIB per capita. Neste caso, observa-se um efeito em forma de U, ou seja, a curva de Kuznets sugere que a desigualdade de renda é maior nas fases iniciais do desenvolvimento econômico. Posteriormente, atinge um ponto de inflexão e começa a diminuir à medida que a economia continua a se desenvolver (ANZOATEGUI; KUNT; PERIA, 2014). De acordo com Kallis, Hickel e Mastini (2019), isso quer dizer que há um efeito negativo inicial do PIB per capita, mas, à medida que o PIB continua a aumentar, o desempenho ambiental tende a melhorar. Isso sugere que, inicialmente, o crescimento econômico pode levar à degradação ambiental, mas, a partir de um determinado ponto de inflexão, à medida que o PIB per capita aumenta, os países apresentam uma melhora na performance ambiental.

Por fim, o modelo cúbico, o mais complexo dos três, revela um coeficiente de determinação  $R^2$  LSDV de 0,565, indicando que 56,5% da variação total da variável dependente (Índice de Performance Ambiental) é explicada pelo modelo de regressão com efeitos fixos. Esse resultado denota a complexidade substancial da relação entre crescimento econômico e performance ambiental, caracterizando-se por uma natureza não linear.

Com base em Ushifusa e Tomohara (2013) e Shao *et al.* (2021), a relação é modelada como uma curva em formato de N invertido, uma vez que esta função é considerada decrescente, existindo um intervalo (a,b) que contém c, de tal forma que  $f$  é decrescente em (a,b). Isso significa que a performance ambiental decresce para baixos níveis de PIB per capita, atingindo seu ponto mínimo. No entanto, a partir de um ponto de inflexão inicial, ela aumenta à medida que o PIB per capita se eleva, atingindo seu ápice antes de iniciar um declínio novamente, conforme evidenciado pelo segundo ponto de inflexão. Na tabela 8, depois da análise das derivadas conforme expresso nas equações 4 e 5, foram identificados tais pontos de transição.

Tabela 8 - Pontos de inflexão (em dólares americanos) para cada estágio da Curva Ambiental de Kuznets

Intervalo	Ponto de inflexão	Sinal de f(x)
(0; 37.716,15)	37.716,15	-
(37.716,15; 75.899,74)	75.899,75	+
(75.899,74; $\infty$ )	NA	-

Fonte: Elaboração própria (2023).

Observa-se na Tabela 8 que o primeiro ponto de inflexão manifesta-se no valor de US\$37.716,15 de PIB per capita, enquanto o segundo ponto de inflexão ocorre no valor de US\$75.899,74, esses pontos representam limiares críticos do PIB per capita, marcando mudanças significativas na dinâmica da relação entre as variáveis em questão. Ou seja, indicam a transição entre estágios de desenvolvimento econômico e suas implicações para a qualidade da performance ambiental.

Para Sharif (2019), tais pontos indicam os limiares em que a relação muda de direção e destacam a necessidade de políticas específicas e regulamentações ambientais rigorosas, promovendo uma produção mais limpa e equilibrando o crescimento econômico com a proteção ambiental. Por outro lado, alguns estudiosos como Adebayo, Adedoyin e Kirikkaleli (2021); Chien *et al.*(2021) e Suki *et al.*(2022), defendem a ideia de que além de políticas e regulamentações existem outras variáveis que podem afetar a qualidade ambiental e devem ser incluídas no modelo EKC, dando origem a EKC modificada. Nessa perspectiva, a inovação deveria ser considerada no contexto da Curva Ambiental de Kuznets como forma de melhor explicar a qualidade ambiental e, por consequência, a performance ambiental dos países (KHAN; KHAN, 2022).

Contudo, antes da inserção de uma nova variável é importante calcular os critérios estatísticos, uma vez que na análise de dados e modelagem estatística, tais critérios desempenham papel crucial. Eles subsidiam uma abordagem objetiva e quantitativa para a seleção de modelos adequados, equilibrando devidamente o ajuste aos dados com a complexidade do modelo, evitando o uso de modelos excessivamente complexos, que podem levar ao *overfitting*. Portanto, é essencial calcular esses critérios para determinar o modelo mais apropriado para esta pesquisa. Os resultados correspondentes podem ser encontrados na Tabela 9.

Tabela 9 - Critérios de Akaike, Hanna-Quinn, Durbin-Watson e de Schwarz para decisão de modelo a ser utilizado

Indicador	Linear	Quadrático	Cúbico
-----------	--------	------------	--------

Critério de Akaike (AIC)	6.222,024	6.218,815	6.214,027
Critério Hannan-Quinn (HQIC)	6.407,993	6.406,590	6.403,608
Durbin-Watson (BIC)	1,168	1,158	1,151
Critério de Schwarz (BIC)	6.706,578	6.708,074	6.707,991

Fonte: Elaboração própria (2023).

Os critérios estatísticos Akaike, Hannan-Quinn, Durbin-Watson e Schwarz são frequentemente utilizados na seleção de modelos estatísticos, como regressões, para determinar qual modelo se ajusta melhor aos dados. Com base nos critérios apresentados, o modelo cúbico é preferido em relação aos modelos linear e quadrático, por apresentar o menor valor de AIC, HQIC e BIC, sugerindo que é o modelo que melhor se ajusta aos dados e considerando o equilíbrio entre o ajuste e a complexidade. Além disso, todos os modelos têm valores de Durbin-Watson próximos a dois, o que indica a ausência de autocorrelação nos resíduos. Portanto, de acordo com os critérios, o modelo cúbico é o escolhido para este trabalho. A Tabela 10 apresenta os resultados de uma análise de regressão múltipla após a inserção da variável de inovação, com o intuito de explorar a relação entre as variáveis PIB, inovação e performance ambiental, considerando várias formas funcionais (linear, quadrática e cúbica) dessas variáveis.

Tabela 10 - Coeficientes e significância dos coeficientes dos modelos de regressão com efeitos fixos da variável exógena Índice de Performance Ambiental e variáveis endógenas: PIB per capita, PIB per capita ao quadrado e PIB per capita ao cubo, Índice de Inovação, Índice de Inovação ao quadrado e Índice de Inovação ao cubo, em bases bianuais no período de 2008 a 2022

Variável	Coefficiente	Erro padrão	Z	p-valor	Sig.
Constante	3,20E+00	1,17E+01	2,74E-01	7,84E-01	
PIB per capita	-1,63E-03	3,99E-04	-4,08E+00	4,92E-05	***
PIB per capita ao quadrado	1,95E-08	6,55E-09	2,97E+00	3,10E-03	***
PIB per capita ao cubo	-8,25E-14	3,45E-14	-2,39E+00	1,71E-02	**
Inovação	5,15E+00	8,88E-01	5,80E+00	1,01E-08	***
Inovação ao quadrado	-1,04E-01	2,20E-02	-4,73E+00	2,73E-06	***
Inovação ao cubo	5,95E-04	1,69E-04	3,52E+00	5,00E-04	***

Legenda: \* significância de 10%; \*\* significância de 5%; \*\*\* significância de 1%.

Fonte: Elaboração própria (2023).

A Tabela 10 apresenta os resultados de uma análise de regressão múltipla que incorpora a variável de inovação, além das variáveis já analisadas anteriormente, como PIB per capita, PIB per capita ao quadrado e PIB per capita ao cubo, juntamente com as formas quadrática e cúbica dessas variáveis. O objetivo é explorar a relação entre o Índice de

Performance Ambiental e as variáveis econômicas (PIB per capita) e de inovação (Índice Global de Inovação), considerando diferentes formas funcionais dessas variáveis ao longo do período de 2008 a 2022.

Os coeficientes estimados e seus respectivos erros padrão são apresentados na tabela, juntamente com as estatísticas de teste ( $Z$ ), os  $p$ -valores ( $p$ -values) e a significância estatística dos coeficientes. Os resultados indicam que todas as variáveis têm coeficientes estatisticamente significativos, como evidenciado pelos valores- $p$  menores que 0,05, exceto para a constante. O coeficiente para PIB per capita é negativo e estatisticamente significativo, sugerindo uma relação inversa entre o PIB per capita e o Índice de Performance Ambiental. Isso indica que, para países com menores níveis de desenvolvimento econômico, à medida que o PIB per capita aumenta, o desempenho ambiental tende a diminuir.

Os termos quadráticos e cúbicos do PIB per capita também são estatisticamente significativos em todos os modelos, o que sugere uma relação não linear entre o PIB per capita e o Índice de Performance Ambiental. Nesse sentido, observa-se que o termo quadrático do PIB per capita apresenta um sinal positivo, indicando que, para os países com níveis de desenvolvimento econômico intermediários à elevados, à medida que o PIB per capita aumenta, o desempenho ambiental tende a apresentar melhores resultados. Por fim, observa-se que o sinal do termo cúbico do PIB per capita é negativo, indicando que para os países com elevadíssimos níveis de PIB per capita, à medida que o PIB per capita aumenta, o desempenho ambiental volta a diminuir. Esses resultados são consistentes com a teoria da Curva Ambiental de Kuznets, que postula uma relação não linear entre o desenvolvimento econômico e a degradação ambiental.

Além disso, os coeficientes para as variáveis de inovação também são estatisticamente significativos em todos os modelos. O coeficiente para inovação é positivo e estatisticamente significativo, sugerindo uma relação direta entre o Índice Global de Inovação e o Índice de Performance Ambiental. Isso indica que, para países com menores níveis de inovação, à medida que a inovação aumenta, o desempenho ambiental tende a ter um melhor desempenho ambiental.

Os termos quadráticos e cúbicos da inovação também são estatisticamente significativos em todos os modelos, o que sugere uma relação não linear entre a inovação e o Índice de Performance Ambiental. Nesse sentido, observa-se que o termo quadrático da inovação apresenta um sinal negativo, indicando que, para os países com níveis de inovação intermediários à elevados, à medida que a inovação aumenta, o desempenho ambiental tende a apresentar piores resultados. Por fim, observa-se que o sinal do termo cúbico da inovação é

positivo, indicando que para os países com elevadíssimos níveis de inovação, à medida que a inovação aumenta, o desempenho ambiental volta a melhorar. Esses resultados são consistentes com a teoria da Curva Cláudia de Inovação, também denominada de Curva Ambiental de Kuznets modificada, que postula uma relação não linear entre a inovação e a degradação ambiental.

Esses resultados têm implicações importantes para políticas públicas, destacando a importância de promover tanto o crescimento econômico quanto a inovação para melhorar o desempenho ambiental. Estratégias que visam aumentar o investimento em pesquisa e desenvolvimento e promover a adoção de tecnologias mais limpas podem ser eficazes na melhoria da qualidade ambiental, mesmo em um contexto de crescimento econômico. Em suma, a análise dos modelos de regressão múltipla sugere que tanto o crescimento econômico quanto a inovação são importantes determinantes do desempenho ambiental, e políticas que visam promover esses aspectos podem contribuir para a sustentabilidade ambiental em longo prazo.

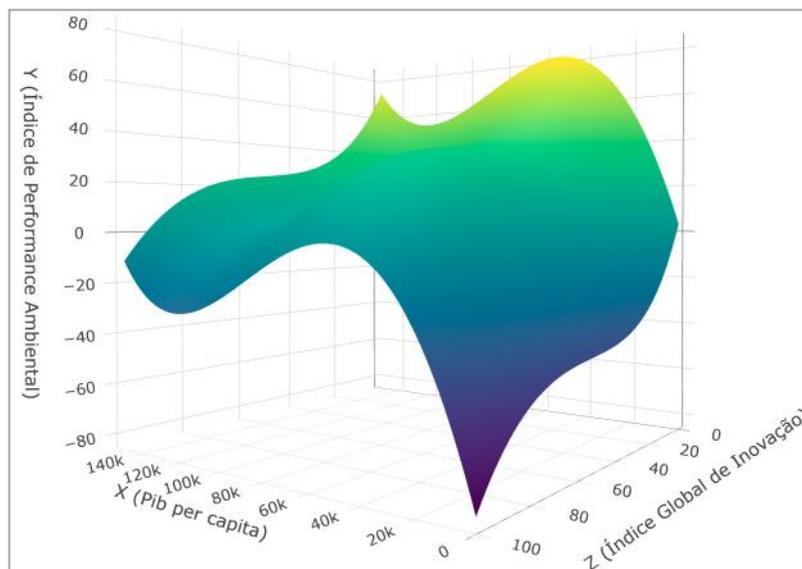


Figura 5 – Resultados da Curva Ambiental de Kuznets modificada.  
Fonte: Elaboração própria (2024).

A partir da análise da Figura 5, percebe-se que os impactos ambientais podem variar conforme o PIB per capita ou a inovação variam, o que torna esta uma relação complexa e podendo ser identificada como uma curva no formato de N invertido, quando se analisa sob a ótica do PIB per capita e da performance ambiental. Por outro lado, quando analisada do ponto de vista da inovação perante a performance ambiental, a relação apresenta-se na forma de N .

Além disso, considerando todos os parâmetros da regressão proposta pela Curva Modificada de Kuznets, a Curva Cláudia de Inovação é designada como:

$y_{i,t} = \theta_0 + \theta_1 PIB_{i,t} + \theta_2 PIB_{i,t}^2 + \theta_3 PIB_{i,t}^3 + \varphi_1 IGI_{i,t} + \varphi_2 IGI_{i,t}^2 + \varphi_3 IGI_{i,t}^3 + \varepsilon_{i,t}$ , e os resultados da Tabela 10 sob a perspectiva do PIB per capita, tem-se:  $\phi_1 < 0$ ,  $\phi_2 > 0$  e  $\phi_3 < 0$ . Esses resultados reforçam a hipótese da existência de pontos de inflexão da curva que se apresenta na forma de N invertido nos países analisados. Já sob a ótica da inovação, observa-se na Tabela 10 que:  $\varphi_1 > 0$ ,  $\varphi_2 < 0$  e  $\varphi_3 > 0$ , denotando uma relação na forma de N entre a inovação e a performance ambiental, além da existência de outros dois pontos de inflexão na curva. Esses pontos representam valores críticos em que ocorrem mudanças significativas na relação entre as variáveis e refletindo na concavidade da curva. A análise das derivadas desses termos, conforme as equações 4 e 5, e demonstradas na Tabela 11, permite identificar os pontos de inflexão da curva EKC modificada.

Tabela 11 - Pontos de inflexão para cada estágio da curva EKC modificada

Variável	Intervalo	Ponto de inflexão	Sinal de f'(x)
PIB per capita	(0; 41.821,40)	US\$ 4.1821,40	-
	(41.821,40; 78.714,77)	US\$ 78.714,77	+
	(78.714,77; ∞)	NA	-
Inovação	(0; 24,77)	24,77	-
	(24,77; 58,20)	58,20	+
	(58,20; ∞)	NA	-

NA = não se aplica

Fonte: Elaboração própria (2023).

Observando-se a Tabela 11, infere-se que os países com PIB per capita inferior a US\$41.821,40 estariam representados no primeiro momento da Curva Ambiental de Kuznets (na forma de N invertido). Estes países incluem tanto os desenvolvidos quanto os emergentes e subdesenvolvidos, como é o caso da Itália, Brasil e Moçambique, respectivamente. Essas nações demonstram um compromisso com o crescimento econômico, porém necessitam de políticas ambientais mais sólidas, uma vez que o sinal da relação entre as variáveis é negativo. Esse sinal negativo indica que, para países em fase inicial de desenvolvimento econômico, o incremento de uma unidade de PIB per capita impacta negativamente a qualidade ambiental e, como consequência, a performance ambiental desses países.

Por outro lado, os países com PIB per capita entre US\$41.821,40 e US\$ 78.714,77, seriam mais bem representados no segundo momento da curva, na há uma correlação positiva entre desenvolvimento econômico e qualidade ambiental. Como exemplo tem-se: a Austrália, Áustria, Bélgica, Canadá, Dinamarca, Finlândia, França, Alemanha, Islândia, Israel, Japão, Países Baixos, Nova Zelândia, Cingapura, Suécia, Emirados Árabes Unidos, Reino Unido e

Estados Unidos da América. Essas nações são consideradas desenvolvidas, caracterizados por economias altamente avançadas, sistemas de educação e saúde eficazes, além de um considerável poder econômico e uma consciência ambiental mais desenvolvida (ONU, 2023).

Finalmente, observa-se que os países com um PIB per capita de \$78.714,77 ou superior estariam no terceiro momento da curva, onde, à medida que o PIB per capita aumenta, as melhorias na qualidade ambiental dos países analisados tornam-se menos significativos. Dentre tais países destaca-se: Irlanda, Luxemburgo, Noruega, Catar e Suíça. Esses países também são considerados desenvolvidos, com um elevado padrão de vida e têm um histórico de implementação de políticas ambientais e investimento em tecnologias sustentáveis devido aos seus recursos econômicos e padrão de vida elevado (ONU, 2023).

Apesar disso, esses países enfrentam o desafio de manter um equilíbrio entre o crescimento econômico e a preservação ambiental, especialmente à medida que suas economias continuam a prosperar. A pressão sobre os recursos naturais e os impactos ambientais associados ao desenvolvimento industrial e ao estilo de vida consumista podem representar ameaças significativas para a sustentabilidade a longo prazo. Assim, é fundamental que essas nações continuem a implementar políticas ambientais robustas, promovendo práticas de produção e consumo mais sustentáveis, investindo em tecnologias verdes e adotando estratégias de mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Essas medidas são essenciais para garantir que o crescimento econômico seja acompanhado por melhorias significativas na qualidade ambiental e no bem-estar das gerações futuras.

Tais resultados, corroboram com Acemoglu *et al.*, (2012), Tariq *et al.*, (2017), Wang, Zhang e Wang (2018) e Bekun, Alola e Sarkodie (2019), uma vez que o crescimento econômico crescente tem resultado em um aumento do consumo de energia e, conseqüentemente, em emissões de carbono, afetando negativamente a qualidade ambiental e levando a uma baixa performance ambiental. Mas, a partir de um determinado ponto de inflexão cresce à medida que o PIB per capita se eleva, e torna-se decrescente novamente ao atingir o segundo ponto de inflexão para níveis mais elevados de PIB per capita (USHIFUSA; TOMOHARA, 2013; SHAO *et al.*, 2021).

Já, com relação a inovação o primeiro ponto de inflexão é identificado com o Índice Global de Inovação (IGI) igual a de 24,77 e o segundo ponto de inflexão é encontrado com IGI 58,20. Esses pontos de inflexão podem indicar a transição entre estágios de inovação e suas implicações na performance ambiental. Ou seja, à medida que a inovação chega ao seu primeiro ponto de inflexão (IGI igual a 24,77), pode ocorrer uma queda na performance ambiental, pois alguns países podem enfrentar aumento nas emissões de CO<sub>2</sub> devido ao

aumento de renda e práticas de tecnologias avançadas. São necessárias, portanto, políticas que incentivem a inovação voltada para a promoção da sustentabilidade, em vez de focar apenas na produção em massa (SHARIF, 2019; KHAN; KHAN, 2022).

Por outro lado, países que apresentam IGI superior a 24,77 e inferiores a 58,20 apresentam uma relação positiva entre o aumento dos níveis de inovação e de performance ambiental, denotando uma convergência entre desenvolvimento tecnológico e preservação ambiental. Essa faixa de IGI sugere que, à medida que a inovação progride, as práticas ambientais também melhoram, possivelmente devido à adoção de tecnologias mais limpas e sustentáveis. Isso reforça a importância de políticas que promovam a inovação com foco na sustentabilidade, visando a equilibrar o progresso econômico com a proteção do meio ambiente.

Por fim, países que atingiram elevados níveis de inovação (IGI igual ou superior a 58,20), estariam mais bem representados no terceiro momento da curva, em que há uma relação negativa entre as variáveis (Índice Global de Inovação e Índice de Performance Ambiental). Nesse estágio avançado de inovação, o crescimento da inovação pode estar associado a práticas que, apesar de impulsionarem a economia, podem ter impactos adversos significativos no meio ambiente, como o uso intensivo de recursos naturais não renováveis ou a geração excessiva de resíduos. Portanto, é crucial que esses países adotem políticas que promovam a inovação sustentável e a mitigação dos impactos ambientais, visando manter um equilíbrio entre o desenvolvimento tecnológico e a preservação do meio ambiente para as gerações futuras.

Assim, analisando os 102 países deste estudo, pode-se categorizá-los em três momentos distintos, ou seja, momentos 1, 2 e 3. No momento 1, encontram-se os países emergentes e subdesenvolvidos, exemplificados pelos dois países africanos, Egito e Etiópia. O Egito, classificado como emergente, direciona seus esforços para os setores de energia renovável e tecnologia a fim de impulsionar sua economia, enquanto a Etiópia, considerada um país subdesenvolvido, enfrenta desafios, mas está determinado a melhorar sua inovação e economia, buscando atrair investimentos (WORLD DATA BANK, 2022; WIPO, RELATÓRIO IGI, 2022).

No momento 2, estão os países emergentes ou desenvolvidos, como a Espanha e a Bulgária, ambos localizados na Europa, com IGI superior a 24,77. A Espanha, tida como de alta renda, visa melhorar sua inovação e competitividade, estabelecendo metas para redução de emissões. Por sua vez, a Bulgária, emergente, trabalha para superar desafios ambientais e implementar práticas sustentáveis (WORLD DATA BANK, 2022; WIPO, RELATÓRIO IGI,

2022).

Finalmente, no momento 3, encontram-se os países desenvolvidos, exemplificado pela Suíça, com um IGI apartir de 58,20 ou acima. A Suíça é reconhecida por sua economia robusta, alto IGI e desempenho ambiental positivo (WORLD DATA BANK, 2022; WIPO, RELATÓRIO IGI, 2022), indicando que o aumento da inovação está associado a uma melhoria na performance ambiental (DAUDA *et al.*, 2019; KOHLER; TURNHEIM; HOSDON, 2020).

Em suma, a análise dos resultados da regressão revela *insights* valiosos sobre a relação entre o crescimento econômico, a inovação e a performance ambiental. Sendo, consistentes com a literatura e ressaltando a importância de considerar o equilíbrio entre as variáveis na tomada de decisões. Identificados os pontos de inflexão, foi possível delinear diferentes estágios de desenvolvimento econômico e inovação e seus impactos na performance ambiental. Essas constatações desempenham um papel fundamental para orientar os países em suas políticas e estratégias que visam promover o desenvolvimento econômico sustentável e a preservação do meio ambiente.

## **5 Considerações finais**

Os resultados desta pesquisa revelam padrões interessantes na relação entre crescimento econômico, inovação e desempenho ambiental em uma amostra de 102 países ao longo do período de 2008 a 2022. Inicialmente, destacou-se a diversidade geográfica e econômica dos países analisados, abrangendo diferentes regiões do mundo, cada uma com suas próprias características e desafios em termos de desenvolvimento econômico e sustentabilidade ambiental.

Os modelos de regressão foram construídos para explorar a relação entre o Índice de Performance Ambiental e as variáveis econômicas (PIB per capita) e de inovação, utilizando diferentes formas funcionais para capturar a natureza complexa dessas interações. Os resultados indicam que tanto o crescimento econômico quanto a inovação são fatores significativos na determinação do desempenho ambiental, com implicações importantes para políticas públicas e estratégias de desenvolvimento sustentável.

A análise dos modelos de regressão revelou uma relação não linear entre o crescimento econômico e o desempenho ambiental, conforme previsto pela teoria da Curva Ambiental de Kuznets. Observou-se que, inicialmente, o aumento do PIB per capita estava associado a uma deterioração da qualidade ambiental, mas, a partir de um certo ponto de inflexão, o desempenho ambiental começou a melhorar à medida que o PIB per capita continuava a aumentar. No entanto, para países com níveis muito elevados de renda per capita, houve uma tendência de queda no desempenho ambiental, sugerindo a necessidade de políticas específicas para lidar com os desafios ambientais associados ao desenvolvimento econômico avançado.

Além disso, os resultados indicaram que a inovação desempenha um papel crucial na determinação do desempenho ambiental, com uma relação positiva entre inovação e qualidade ambiental em níveis moderados de inovação. No entanto, para países com níveis extremamente altos de inovação, observou-se uma tendência negativa na relação entre inovação e desempenho ambiental, sugerindo a existência de limites para o desenvolvimento tecnológico sem comprometer a sustentabilidade ambiental.

Esses achados têm implicações significativas para políticas públicas e estratégias de desenvolvimento, destacando a importância de promover um crescimento econômico sustentável e uma inovação voltada para a sustentabilidade ambiental. Estratégias que visam equilibrar o crescimento econômico com a proteção ambiental são essenciais para garantir um futuro sustentável para as gerações futuras.

Em resumo, esta pesquisa contribui para o entendimento da complexa relação entre crescimento econômico, inovação e desempenho ambiental, fornecendo insights para formuladores de políticas, pesquisadores e profissionais interessados em promover o desenvolvimento sustentável em escala global

## Referências

ACEMOGLU, D. *et al.* Transition to clean technology. **Journal of Political Economy**, v.120, n. 1, 2012.

ADEBAYO, T. S.; ADEDOYIN, F. F.; KIRIKKALELI, D. Toward a sustainable environment: nexus between consumption-based carbon emissions, economic growth, renewable energy, and technological innovation in Brazil. **Environ Sci Pollut Res**, v. 28, p.52272-52282, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-14425-0>. Acesso em: 16 ago 2023.

ADEEL-FAROOQ, R. M.; BAKAR, N. A. A.; RAJI, J. O. Green field investment and

environmental performance: A case of selected nine developing countries of Asia. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v. 37, n. 3, p. 1085-1092, 2018.

ADEEL-FAROOQ, R. M.; RAJI, J. O.; QAMRI, G. M. Does financial development influence the overall natural environment? An environmental performance index (EPI) based insight from the ASEAN countries. **Environment, Development and Sustainability**, v. 25, n. 6, p.5123-5139, 2023.

ANZOATEGUI, D.; KUNT, D.; PERIA, M. Remittances and Financial Inclusion: Evidence from El Salvador. **World Dev**, v. 54, n. 338. 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0305750X13002180>. Acesso em: 18 ago.2023.

APERGIS, N.; GARCÍA, C. Environmentalism in the EU-28 context: the impact of governance quality on environmental energy efficiency. **Environ Sci Pollut Res**, v. 26, n.36, p. 37012-37025, 2019. Disponível em: <https://doi-org.ez66.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s11356-019-06600>. Acesso em: 14 jul. 2023.

BAGLIANI, M.; BRAVO, G.; DALMAZZONE, S. A consumption-based approach to environmental Kuznets curves using the ecological footprint indicator. **Ecological Economics**, v. 65, n. 3, p. 650-661, 2008, Disponível em: [https://econpapers.repec.org/article/eeeecolec/v\\_3a65\\_3ay\\_3a2008\\_3ai\\_3a3\\_3ap\\_3a650-661.htm](https://econpapers.repec.org/article/eeeecolec/v_3a65_3ay_3a2008_3ai_3a3_3ap_3a650-661.htm). Acesso em: 22 jul. 2023.

BAKIRTAS, I.; CETIN, M. A. Revisiting the environmental Kuznets curve and pollution haven hypotheses: MIKTA sample. **Research Article**, v. 24, p. 18273-18283, 2017. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28639013/>. Acesso em: 18 ju. 2023.

BALSALOBRE-LORENTE, D. *et al.* An approach to the pollution haven and pollution halo hypotheses in MINT countries. **Environ Sci Pollut Res**, v. 26, n. 22, p. 23010-23026, 2019.

BEKUN, V.; ALOLA, A. A.; SARKODIE, S. A. Toward a sustainable environment: Nexus between CO<sub>2</sub> emissions, resource rent, renewable and nonrenewable energy in 16-EU countries. **Sci Total Environ**, n. 657, p. 1023-1029, 2019.

CARRILLO- HERMOSILLA, J.; DEL RIO, P.; KONNOLA, T. Diversity of eco-innovations: Reflections from selected case studies. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 10-11, p.1073-1083, 2010.

CHHABRA, M.; GIRI, A. K.; KUMAR, A. Do technological innovations and trade openness reduce CO<sub>2</sub> emissions? Evidence from selected middle-income countries. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 43, p. 65723-65738, 2022.

CHIEN, F. *et al.* The role of technology innovation, renewable energy and globalization in reducing environmental degradation in Pakistan: A step towards sustainable environment. **Renew Energy**, 2021. <https://doi-org.ez66.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.renene.2021.05.101>.

DASGUPTA, P.; BALDWIN, R.; STEINBERG, D. A. **The economics of biodiversity: The Dasgupta review**. HM Treasury, United Kingdom, 2021.

DAUDA, A. B. *et al.* Waste production in aquaculture: Sources, components and

managements in different culture systems. **Aquaculture and Fisheries**, v. 4, n. 3, p. 81-88, may 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468550X18300352>. Acesso em: 14 jul. 2023.

DAUDA, L. *et al.* Innovation, trade openness and CO<sub>2</sub> emissions in selected countries in Africa. **Journal of Cleaner Production**, v. 281, n. 125143, 2021.

EIBINGER, T.; DEIXELBERGER, B.; MANNER, H. Estimating Ipat Models Using Panel Data. 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4479922>. Acesso em 14 jul. 2023.

EPI - Environmental Performance Index report. Yale 2022. Disponível em: <https://epi.yale.edu/epi-results/2022/component/epi>. Acesso em: 12 jan. 2023.

ESTY, D. C. *et al.* Environmental sustainability index: benchmarking national environmental stewardship. **Yale Center for Environmental Law and Policy**, New Haven, 2005.

FAKHER, H. A. *et al.* Renewable energy, nonrenewable energy, and environmental quality nexus: An investigation of the N-shaped Environmental Kuznets Curve based on six environmental indicators. **Energy**, v. 263, n.15, jan. 2023. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125660>. Acesso em: 14 jul. 2023.

FERNANDES, C. **Crescimento econômico versus emissões de CO<sub>2</sub>: Uma análise sob a ótica da Curva Ambiental de Kuznets**. 2021 Disponível em: [http://acervo.ufvjm.edu.br/jspui/bitstream/1/2904/1/cinthia\\_izabela\\_pina\\_fernandes.pdf](http://acervo.ufvjm.edu.br/jspui/bitstream/1/2904/1/cinthia_izabela_pina_fernandes.pdf). Acesso em: 17 jul. 2023.

GAO, X.; FAN, M. The role of quality institutions and technological innovations in environmental sustainability: Panel data analysis of BRI countries. **Plos one**, v. 18, n. 6, p.e0287543, 2023. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0287543>. Acesso em: 15 jul. 2023.

GROSSMAN, G. M.; KRUEGER, A.B. Environmental impacts of North American freetrade agreement. Nber working paper series. Working paper n.3914. **National Buerauf economic research**. Cambridge: November 1991.

HORBACH, J.; RAMMER, C. Eco-innovation and environmental performance in manufacturing industries: empirical evidence on the basis of firm-level data. **Industry and Innovation**, v. 26, n. 6, p. 699-727, 2019. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/337930990\\_Circular\\_economy\\_innovations\\_growth\\_and\\_employment\\_at\\_the\\_firm\\_level\\_Empirical\\_evidence\\_from\\_Germany](https://www.researchgate.net/publication/337930990_Circular_economy_innovations_growth_and_employment_at_the_firm_level_Empirical_evidence_from_Germany). Acesso em: 14 ago. 2023.

JONES, L.; FREDRICKSEN, L.; WATES, T. **Environmental indicators**. Canada: The Fraser Institute, 2002.

KALLIS, G.; HICKEL, J.; MASTINI, R. Is Green Growth Possible? **New Political Economy**, v. 25, p. 469-486, 2019. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13563467.2019.1598964>. Acesso em: 14 ago. 2023.

KHAN, H.; KHAN, I. The role of innovations and renewable energy consumption in reducing environmental degradation in OECD countries: an investigation for Innovation Claudia Curve. **Environmental science and pollution research**, v. 29, n. 29, p. 43800-43813, 2022.

KHAN, H.; WEILI, L.; KHAN, I. Institutional quality, financial development and the influence of environmental factors on carbon emissions: evidence from a global perspective. **Environ Sci Pollut Res**, v. 29, p. 13356-13368, 2021.

KOHLER, J.; TURNHEIM, B.; HOSDON, M. Low carbon transitions pathways in mobility: Applying the MLP in a combined case study and simulation bridging analysis of passenger transport in the Netherlands. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 151, n.119314, feb. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.06.003>. Acesso em: 23 jun. 2023.

LUO, G. *et al.* A reexamination of the existence of environmental Kuznets curve for CO<sub>2</sub> emissions: evidence from G20 countries. **Nat Hazards**, v. 85, n. 2, p. 1023-1042, 2017. Disponível em: [https://econpapers.repec.org/article/sprnathaz/v\\_3a85\\_3ay\\_3a2017\\_3ai\\_3a2\\_3ad\\_3a10.1007\\_5fs11069-016-2618-0.htm](https://econpapers.repec.org/article/sprnathaz/v_3a85_3ay_3a2017_3ai_3a2_3ad_3a10.1007_5fs11069-016-2618-0.htm)> Acesso em: 12 jul. 2023.

MENSAH, C. N. *et al.* The effect of innovation on CO<sub>2</sub> emissions of OCED countries from 1990 to 2014. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, p. 29678-29698, 2018.

MENSAH, J. Sustainable development: Meaning, history, principles, pillars, and implications for human action: Literature review. **Cogent social sciences**, v. 5, n. 1, n. 1653531, 2019.

MUGHAL, N. *et al.* **The role of technological innovation in environmental pollution, energy consumption and sustainable economic growth: Evidence from South Asian economies.** Published by Elsevier Ltd., 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X21001309>. Acesso em: 12 jul. 2023.

NUMAN, U. *et al.* Revisiting the N-shaped environmental Kuznets curve for economic complexity and ecological footprint. **Journal of Cleaner Production**, v. 365, n. 132642, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132642>. Acesso em: 17 jul. 2023.

ONU. Emissions Gap Report 2023. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/43922/EGR2023.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Acesso em: 17 ago. 2023.

PARAMATI, S. R.; ALAM, M. S.; CHEN, C. F. The effects of tourism on economic growth and CO<sub>2</sub> emissions: a comparison between developed and developing economies. **J Travel Res**, v. 56, n. 6, p. 712-724, 2016.

PENA, E. **Relação entre emissões de gás carbônico e renda no Brasil.** Programa de pós-graduação em economia, UNB, 2022. Disponível em [http://icts.unb.br/jspui/bitstream/10482/44827/1/2022\\_ElisCarvalhoPena.pdf](http://icts.unb.br/jspui/bitstream/10482/44827/1/2022_ElisCarvalhoPena.pdf). Acesso em: 18 jul. 2023.

SARPONG, S.Y.; BEIN, M.A. The relationship between good governance and CO<sub>2</sub> emissions in oil- and non-oil-producing countries: a dynamic panel study of sub-Saharan Africa. **Environ Sci Pollut Res**, v. 27, p. 21986-22003, 2020. Disponível em: <https://doi-org.ez66.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s11356-020-08680-w>. Acesso em: 14 jul. 2023.

SEHNEM *et al.* Green supply chain management and the innovation–environmental performance relationship. **Journal of Business Ethics**, v. 163, n. 1, p. 25-46, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/prod/a/v3DX3TszZBngWjqjttWytJt/?lang=pt&%20format=pdf#Acesso> o em: 18 jul. 2023.

SHAHBAZ, M.; NASIR, M. A.; ROUBAND, D. Environmental degradation in France: the effects of FDI, financial development, and energy innovations. **Energy Econ**, v. 74, p. 843-857, 2018. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/eee/eneeco/v74y2018icp843-857.html>. Acesso em: 18 jul. 2023.

SHAHBAZ, Muhammad; SINHA, Avik. Environmental Kuznets curve for CO<sub>2</sub> emissions: a literature survey. **Journal of Economic Studies**, v. 46, n. 1, p. 106-168, 2019.

SHAO, X. *et al.* Does environmental and renewable energy R&D help to achieve carbon neutrality target? A case of the US economy. **Journal of Environmental Management**, v. 296, n. 15, n. 113229, oct. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479721012913>. Acesso em: 18 ago. 2023.

SHARIF, A. *et al.* The dynamic relationship of renewable and nonrenewable energy consumption with carbon emission: A global study with the application of heterogeneous panel estimations. **Renewable Energy**, v. 133, p. 685-691, apr. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148118312369>. Acesso em: 18 jun. 2023.

SIMÕES, M. S. **Ensaio sobre desempenho socioeconômico, complexidade econômica e performance ambiental**. Tese (Doutorado em Economia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021. Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2021.436>. Acesso em: 18 jul. 2023.

SIMON, J. L. **The Ultimate Resource**. Princeton University Press, 1981.

SIMON, J. L. **The Ultimate Resource 2**. Princeton University Press, 1996.

SINHA, A.; SHAHBAZ, M. Estimation of environmental Kuznets curve for CO<sub>2</sub> emission: role of renewable energy generation in India. **Renew. Energy**, v. 119, p. 703-711, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148117312624>. Acesso em: 18 jul. 2023.

SREBOTNJAK, T. Environmental Performance Index. **Wiley Online Library**. 2014. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781118445112.stat03789>. Acesso em: 12 jun. 2023.

SUKI, N. M. *et al.* The role of technology innovation and renewable energy in reducing environmental degradation in Malaysia: a step towards sustainable environment. **Renew Energy**, v.182, p. 245-253, 2022.

TARIQ, S. *et al.* CO<sub>2</sub> emissions from Pakistan and India and their relationship with economic variables. **Appl Ecol Environ Res**, v. 15, n. 4, p. 1301-1312, 2017.

THOMPSON, A.; JEFFORDS, C. J. Virtual Water and an EKC for Water Pollution, *Water Resources Management: An International Journal*, Published for the European Water Resources Association (EWRA), Springer; **European Water Resources Association (EWRA)**, v. 31, n. 3, p. 1061-1066, feb. 2017. Disponível em: [https://ideas.repec.org/a/spr/waterr/v31y2017i3d10.1007\\_s11269-016-1541-1.html](https://ideas.repec.org/a/spr/waterr/v31y2017i3d10.1007_s11269-016-1541-1.html). Acesso em: 21 set. 2023.

UDDIN, G. A.; ALAM, K.; GOW, J. Population age structure and savings rate impacts on economic growth: Evidence from Australia. **Economic Analysis and Policy**, v. 52, p. 23-33,

dec. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0313592616300327>. Acesso em: 18 ago. 2023.

USHIFUSA, Y.; TOMOHARA, A. Productivity and Labor Density: Agglomeration Effects over Time. June 2012 **Atlantic Economic Journal**, v. 41, n. 2, p. 123-132, 2012. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/271919019\\_Productivity\\_and\\_Labor\\_Density\\_Aglomeration\\_Effects\\_over\\_Time](https://www.researchgate.net/publication/271919019_Productivity_and_Labor_Density_Aglomeration_Effects_over_Time). Acesso em: 14 ago. 2023.

WANG, Z.; ZHANG, D.; WANG, B. Renewable energy consumption, economic growth and human development index in Pakistan: evidence form simultaneous equation model. **Journal of Cleaner Production**. 184:1081–1090, 2018. <https://doi-org.ez66.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.jclepro.2018.02.260>

WANG, W. et al. Does increasing carbon emissions lead to accelerated eco-innovation? Empirical evidence from China. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 251, p. 119690, 2020. <https://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119690>. Disponível em < > Acessado em 18 jul 2023.

WANG, Yafei; LIU, Jing; ZHAO, Zihan; REN, Jin; CHEN, Xinrui. Research on carbon emission reduction effect of China's regional digital trade under the “double carbon” target--combination of the regulatory role of industrial agglomeration and carbon emissions trading mechanism, **Journal of Cleaner Production**, Volume 405, 2023. 137049, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137049>.

WICAKSANA, T. K. Effect of Trade Openness on the Environmental Performance Index in Sub-Sahara Africa. **Journal of Economics and Policy**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.15294/jejak.v15i1.36948>. Acesso em: 14 ago. 2023.

WIPO. **Relatório IGI**. 2022. Disponível em: <https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/pt/wipo-pub-2000-2022-exec-pt-global-innovation-index-2022-15th-edition.pdf>> Acesso em: 14 jan. 2023.

ZAFAR, M. W. *et al.* How renewable energy consumption contribute to environmental quality? The role of education in OECD countries. **Journal of Cleaner Production**, v. 268, n.122149, 2020.

ZHANG, Chen; WANG, Yuan; SONG, Xiaowei; KUBOTA, Jumpei; HE, Yanmi; TOJO, Junji e ZHU, Xiaodong. An integrated specification for the nexus of water pollution and economic growth in China: Panel cointegration, long-run causality and environmental Kuznets curve. *Science of The Total Environment*. Volume 609, 2017, Pages 319-328, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.107>.

## Capítulo III

### **A relação entre ambiente inovador, desenvolvimento econômico e performance ambiental em diferentes países**

**Resumo:** O estudo realizado utilizou dados secundários de 2022 para analisar as interações entre inovação, investimento em P&D, desenvolvimento econômico, educação e desempenho ambiental em escala global. A amostra compreendeu 65 nações, representando 33% do globo terrestre com destaque para a diversidade geográfica e econômica. A análise revelou associações significativas entre o ambiente inovador, o PIB per capita e o Índice de Performance Ambiental (EPI), indicando que investimentos em educação e inovação são fundamentais para impulsionar o desenvolvimento econômico e melhorar a qualidade ambiental. A modelagem de equações estruturais confirmou a robustez do modelo proposto, destacando a importância do ambiente inovador como catalisador do crescimento econômico e da sustentabilidade ambiental. Além disso, os resultados sugerem que investimentos específicos em educação e inovação verde podem potencializar ainda mais esses efeitos positivos, oferecendo uma abordagem alinhada com as demandas atuais de sustentabilidade global. Portanto, políticas públicas que incentivem a inovação verde e a educação para a sustentabilidade podem desempenhar um papel crucial na promoção do desenvolvimento econômico sustentável e na melhoria da qualidade ambiental em escala global.

**Palavras-chave:** Modelagem de equações estruturais. Ambiente inovador. PIB per capita. Performance ambiental.

**Abstract:** The study utilized secondary data from 2022 to analyze the interactions between innovation, investment in R&D, economic development, education, and environmental performance on a global scale. The sample comprised 65 nations, representing 33% of the Earth's surface, distinguished by geographical and economic diversity. The analysis revealed significant associations between the innovative environment, GDP per capita, and the Environmental Performance Index (EPI), indicating that investments in education and innovation are crucial to driving economic development and enhancing environmental quality. Structural equation modeling confirmed the robustness of the proposed model, emphasizing the importance of the innovative environment as a catalyst for economic growth and environmental sustainability. Furthermore, the results suggest that specific investments in education and green innovation can further amplify these positive effects, offering an approach aligned with current global sustainability demands. Hence, public policies encouraging green innovation and sustainability-focused education can play a crucial role in promoting sustainable economic development and improving environmental quality on a global scale.

**Keywords:** Structural equation modeling. Innovative environment. GDP per capita. Environmental performance.

## 1 Introdução

A crescente degradação ambiental e as transformações climáticas globais emergem como ameaças críticas à sobrevivência humana (PRASETYO, 2023). Autores como Anser, Alharthi e Aziz (2020), Dinca *et al.* (2022), Khan e Khan (2023) e Adeel-Farooq, Raji e Qamri (2023) respaldam a relação entre práticas insustentáveis, inovação limitada e a falta de incentivo econômico à pesquisa e desenvolvimento sustentáveis, como os principais contribuintes desse cenário (HAJIGHASEMI *et al.*, 2022).

Bengtsson *et al.* (2018), destacam que o contínuo desenvolvimento econômico, juntamente com transformações nos estilos de vida, modos de produção e padrões de consumo, geram impactos ambientais substanciais. O rápido crescimento das economias industriais, exemplificado notavelmente pela China, a maior economia manufatureira e, simultaneamente, o país mais poluído do mundo em termos de emissões de CO<sub>2</sub> (NGUYEN *et al.*, 2021), representa uma ameaça significativa à saúde ambiental e pública.

Lidar com os desafios causados pela baixa performance ambiental exige uma abordagem que inclua tanto a educação quanto o engajamento (SIMÕES, 2021). Dinca *et al.* (2022) destacam o papel fundamental da educação na melhoria da performance ambiental dos países, uma vez que através do aumento nos níveis educacionais, as sociedades se tornam mais conscientes da necessidade de inovar para atingir um futuro sustentável (KHAN; WEILI; KHAN, 2021; PRASETYO, 2023).

A inovação, por sua vez, desencadeia impactos positivos na economia, criando oportunidades de emprego, aumentando a produtividade e a competitividade, e contribuindo para a solução de problemas sociais e ambientais (OECD, 2018; KIRIKKALELI, 2020; KHAN; KHAN, 2023). No entanto, a capacidade e a intensidade de inovação variam entre as economias, sendo influenciadas por diversos fatores, entre eles a Estrutura Inovadora Comum (CIS) do país (DOYLE; O'CONNOR, 2013).

Caravaggio (2020) enfatiza a necessidade de uma mudança no comportamento humano em direção às práticas sustentáveis, energias renováveis e soluções de baixo carbono para melhorar a performance ambiental, enfrentando as crises energéticas e climáticas iminentes. Por sua vez, Hajighasemi *et al.* (2022) afirmam que a baixa performance ambiental desafia a infraestrutura financeira em países desenvolvidos e em desenvolvimento.

Assim, diante desse cenário complexo, torna-se imperativo compreender a relação de um ambiente inovador com o desenvolvimento econômico e a performance ambiental. Para tanto, este estudo busca responder o seguinte problema de pesquisa: como o ambiente

inovador e o desenvolvimento econômico impactam na performance ambiental dos países?

## 2 Referencial teórico

Nesta seção, será abordada minuciosamente a relação entre ambiente inovador, desenvolvimento econômico e performance ambiental, explorando a interação entre esses fatores e suas implicações.

### 2.1 Ambiente inovador

O ambiente inovador desempenha um papel importantíssimo na promoção do desenvolvimento econômico e social, sendo essencial para impulsionar a inovação e o progresso (WU; WANG; ZHANG; 2020; WANG; LI CHEN, 2022). Pode ser entendido como um conjunto de condições econômicas, sociais e institucionais que favorecem a geração e a disseminação de inovações em uma determinada região ou país (WU; WANG; ZHANG, 2020).

Para melhor entender essa dinâmica, é importante considerar os diversos fatores que impulsionam a inovação. Autores como Wei e Lihua (2023) e Bielińska-Dusza e Hamerska (2021) destacam que elementos como níveis de escolaridade, dinâmica econômica das empresas locais, incentivos financeiros, distribuição de renda e políticas governamentais desempenham um papel significativo nesse processo. Esses são os motores que impulsionam a busca por soluções criativas e novas abordagens, alimentando o ciclo de inovação e progresso (WEI; LIHUA, 2023).

Além disso, é crucial ressaltar que a infraestrutura de pesquisa e desenvolvimento (P&D) desempenha um papel central na criação de um ambiente inovador robusto (HAN *et al.*, 2022). Investimentos governamentais em P&D, bem como parcerias estratégicas entre instituições acadêmicas, setor privado e governo são fundamentais para impulsionar a geração de novos conhecimentos e tecnologias, além de promover a colaboração e transferência de conhecimento entre diferentes atores do ecossistema de inovação (WANG; LI; CHEN, 2022).

Regiões e países com maiores investimentos em P&D tendem a apresentar ambientes inovadores mais dinâmicos e resilientes (WANG; LI; CHEN, 2022). Essa robustez do ambiente inovador não apenas impulsiona a competitividade regional, como também estimula a criação de empregos de alta qualidade e o surgimento de novas oportunidades econômicas

(WANG; LI; CHEN, 2022). Outrossim, uma força de trabalho altamente qualificada e uma cultura empresarial que valorize o risco e a experimentação, são aspectos-chave para promover a inovação e impulsionar o desenvolvimento econômico (ZHANG et. al, 2017).

Assim, torna-se evidente que um ambiente propício à inovação não é apenas uma condição indispensável para o desenvolvimento econômico e social, mas também uma fonte de vantagem competitiva para as regiões e países que conseguem cultivá-lo de forma eficaz (WU; WANG; ZHANG; 2020). Nas seções subsequentes, serão exploradas as interações entre ambiente inovador, desenvolvimento econômico e performance ambiental, a fim de fornecer uma base teórica sólida para as hipóteses a serem testadas neste estudo.

## 2.2 A influência do ambiente inovador no desenvolvimento econômico

Nesta seção é explorada a intrincada interação entre inovação e desenvolvimento econômico, fundamentada em estudos que destacam a amplitude do impacto da inovação para além do crescimento econômico, abrangendo a criação de empregos, geração de renda e a redução da pobreza. Nesse sentido, estudos como os de Ciocanel e Pavelescu, (2015) e Dima *et al.* (2018) estabeleceram uma relação de causa-efeito entre o estímulo às atividades de inovação e o crescimento econômico, confirmando a importância do paradigma da inovação na economia (BIELIŃSKA-DUSZA; HAMERSKA, 2021).

O impacto da inovação vai além do crescimento econômico, estendendo-se à criação de empregos, geração de renda e redução da pobreza, conforme evidenciado pela Organização Mundial da Propriedade Intelectual (WIPO) em 2020. Paiva *et al.* (2018), Malerba e McKelvey (2019), Kirikkaleli (2020) amplificam essa visão, enfatizando a inovação como peça-chave do desenvolvimento social e econômico, moldando o tecido do capitalismo contemporâneo.

Adicionalmente, estudos como os de Barbier (2017) ilustram como os investimentos em inovação, especialmente em tecnologias sustentáveis, têm sido propulsores de avanços econômicos significativos. Fagerberg, Mowery e Nelson (2015) ecoam essas descobertas, destacando a centralidade da inovação para a competitividade empresarial e nacional, fomentando crescimento sustentável em longo prazo.

Entretanto, a relação entre inovação e desenvolvimento econômico é multifacetada, sujeita a diversas influências. Han *et al.* (2022) indicam que fatores como investimentos em P&D e níveis de educação podem modular essa relação. Abordagens como a de Cegarra-Navarro *et al.* (2016) apontam para a importância crucial de uma mão de obra educada e

investimentos robustos em P&D para sustentar o crescimento econômico em prazos mais longos.

De mais a mais, iniciativas como incentivos fiscais para empresas inovadoras, conforme proposto por Koengkan, Kazemzadeh e Fuinhas (2022), demonstram potencial para impulsionar a competitividade global das nações. Acemoglu e Angrist (2019) complementam essas visões quando destacam a relação entre educação, produtividade e inovação, ressaltando o papel crítico do investimento em educação para o progresso econômico.

A presença de ecossistemas de inovação dinâmicos como apontado por Dempere *et al.* (2023), também está correlacionada com taxas mais altas de crescimento econômico e criação de empregos, reforçando a importância de ambientes propícios à inovação. Diante dessas evidências, torna-se claro que a educação e a P&D desempenham papéis cruciais na promoção de um ambiente inovador, impulsionando o crescimento econômico.

Nesta seção, adentrou-se cuidadosamente na intrincada interação entre inovação e desenvolvimento econômico, respaldada por estudos que não apenas estabelecem uma sólida relação de causa-efeito entre o estímulo à inovação e o crescimento econômico, mas também amplificam a visão da inovação como peça-chave do desenvolvimento social e econômico, moldando o tecido do capitalismo contemporâneo. Autores como Ciocanel e Pavelescu (2015), Fagerberg, Mowery e Nelson (2015), Cegarra-Navarro *et al.* (2016), Paiva *et al.* (2018), Barbier (2017), Dima *et al.* (2018), Malerba e McKelvey (2019), Acemoglu e Angrist (2019), Kirikkaleli (2020), Bielińska-Dusza e Hamerska (2021), Koengkan, Kazemzadeh e Fuinhas (2022), e Dempere *et al.* (2023) convergem ao evidenciar não apenas o impacto direto da inovação no crescimento econômico, mas também sua extensão à criação de empregos, geração de renda e redução da pobreza. Essa abordagem abrangente é enriquecida pela consideração de fatores moduladores, como investimentos em pesquisa e desenvolvimento, níveis de educação e iniciativas como incentivos fiscais, reforçando a proposta da hipótese (H1) de uma relação positiva e estatisticamente significativa entre o ambiente inovador e o PIB per capita.

### 2.3 Desenvolvimento econômico e performance ambiental

Nesta seção, foi explorada a interseção complexa entre inovação, desenvolvimento econômico e desafios ambientais, com destaque para a dualidade entre o papel crucial da inovação no avanço econômico e os impactos ambientais associados ao crescimento econômico. Nesse sentido, Paiva *et al.* (2018), Malerba e McKelvey (2019), Kirikkaleli

(2020), enfatizam que a inovação é fundamental para o desenvolvimento econômico e social, sendo o principal mecanismo pelo qual o capitalismo se desenvolve.

Entretanto, à medida que as atividades econômicas se expandem, torna-se cada vez mais evidente o impacto direto do crescimento econômico no consumo energético, resultando em um aumento nas emissões de gases de efeito estufa, reduzindo a qualidade ambiental (ACEMOGLU; ROBINSON, 2012; BEKUN; ALOLA; SARKODIE, 2019; WANG; LI; CHEN, 2022).

Neste contexto, Kirikkaleli (2020), Naqvi *et al.* (2023) e Yang; Shao e Fan (2021) contribuem afirmando que com a crescente demanda por recursos naturais e a exploração desenfreada desses recursos, os impactos ambientais estão se tornando cada vez mais evidentes. Os autores destacam que aumentos de 1% nos combustíveis fósseis, no PIB e na população contribuem, cada um, para um aumento de cerca de 1% nas emissões de CO<sub>2</sub>, impactando diretamente na performance ambiental de cada nação.

Adeel-Farooq, Raji e Qamri (2023) destacam o papel do desenvolvimento econômico na qualidade ambiental em nações da Associação das Nações do Sudeste Asiático (ASEAN), descobrindo que há uma influência negativa, ou seja, quanto maior o desempenho econômico, maior a perda da qualidade ambiental.

Para Sharif *et al.* (2023), essa é uma relação complexa e complexa que incorpora diferentes perspectivas e contribuições. Os próprios autores, em um de seus estudos afirmam que o aumento das atividades econômicas está diretamente relacionado à perda da qualidade ambiental, uma vez que, o aumento do consumo de energia e a consequente elevação das emissões de gases de efeito estufa, prejudicam a performance ambiental de cada país.

Na mesma linha, Kasperowicz (2015), O'Neill *et al.* (2020), Balsalobre-Lorente *et al.* (2019) revelam uma relação de longo prazo, na qual o crescimento econômico tende a impactar negativamente a qualidade do ambiente, abrangendo desde a poluição do ar e da água até a mudança climática e a perda de biodiversidade.

Por sua vez, baixos índices de qualidade ambiental têm consequências negativas para o desenvolvimento econômico. A diminuição da qualidade do ar e da água, por exemplo, afetam a saúde da população e geram aumento nos custos de saúde pública (BARBIER, 2017). Tais impactos negativos não apenas afetam a qualidade de vida, como também podem ter consequências econômicas em longo prazo, como, por exemplo, inflação ou redução do PIB per capita (BARBIER, 2017).

Ademais, é importante destacar que o estágio do desenvolvimento econômico de cada região interfere diretamente na qualidade ambiental dessa área. Uma vez que, países

desenvolvidos, emergentes e subdesenvolvidos têm perfil ambiental diferente entre si (KHAN; KHAN, 2023). As Nações Unidas corroboram ao afirmar que a perda da qualidade ambiental muda conforme a mentalidade econômica, como é o caso de países emergentes ou em desenvolvimento que estão se desenvolvendo economicamente, mas que enfrentam dificuldades e desafios com necessidades de políticas ambientais mais robustas (ONU, 2023).

Por outro lado, os países desenvolvidos, com economias altamente desenvolvidas, sistemas de educação e saúde eficazes, que possuem poder econômico e uma consciência ambiental mais avançada ou até mesmo já se encontram num patamar elevado com políticas ambientais rigorosas e investimento em tecnologias sustentáveis devido ao seu alto padrão de vida e recursos econômicos (WANG; LI; CHEN, 2022).

A interação complexa entre desenvolvimento econômico e desafios ambientais é abordada por uma gama diversificada de perspectivas. Wang, Li e Chen, 2022 sustentam a visão de que o desenvolvimento econômico, especialmente em países mais avançados, pode promover impactos positivos no meio ambiente, resultando em consciência ambiental aprimorada, políticas rigorosas e investimento em tecnologias sustentáveis. Contudo, Acemoglu e Robinson (2012) e Adeel-Farooq, Raji e Qamri (2023) oferecem uma contraparte a essa narrativa, ressaltando os impactos negativos associados ao crescimento econômico, incluindo o aumento nas emissões de gases de efeito estufa e a degradação da qualidade ambiental em diversas regiões. Diante dessas perspectivas divergentes, a hipótese (H2) propõe investigar se existe uma relação estatisticamente significativa entre desenvolvimento econômico e performance ambiental, reconhecendo a complexidade dessas dinâmicas e a necessidade de uma abordagem analítica mais aprofundada para compreender essa interconexão.

#### 2.4 Ambiente inovador e performance ambiental

Nesta seção, foi examinada a complexa interação entre educação, inovação e a qualidade do meio ambiente, ressaltando como os sistemas educacionais robustos e investimentos em P&D podem catalisar ambientes inovadores e práticas sustentáveis. Em vista disso, a educação é reconhecida como uma ferramenta essencial para promover o desenvolvimento econômico sustentável e fomentar valores que combatam a degradação ambiental (DINCA *et al.*, 2022).

Estudos indicam que indivíduos com níveis mais elevados de educação tendem a possuir uma compreensão mais profunda das questões ambientais, o que pode resultar em

práticas mais sustentáveis (LEAL FILHO; SALVIA; EUSTACHIO, 2022). Além disso, países com sistemas educacionais robustos têm maior probabilidade de desenvolver um ambiente propício à inovação, com tecnologias e práticas inovadoras voltadas para a sustentabilidade (NGUYEN, 2019).

Portanto, a baixa performance ambiental dos países muitas vezes está ligada à falta de equidade educacional em diferentes níveis de ensino (BIERMANN *et al.*, 2022; GYIMAH; APPIAH; APPIAGYEI, 2023). Isso pode levar à exploração insustentável dos recursos naturais em favor do desenvolvimento econômico e do consumo humano (GYIMAH; APPIAH; APPIAGYEI, 2023).

Maiores níveis educacionais emergem como um catalisador para o desenvolvimento de inovações sustentáveis, contribuindo para a melhoria da performance ambiental dos países (EYUBOGLU; UZAR, 2021). Pesquisas mostram que um aumento nas matrículas no ensino superior está correlacionado a uma redução nas emissões de CO<sub>2</sub>, em curto ou em longo prazo (WU; WANG; ZHANG, 2020). No entanto, a falta de educação ambiental pode resultar em políticas públicas malformadas, priorizando práticas de inovação que negligenciam a sustentabilidade e contribuem para impactos ambientais negativos (KONG, 2020; JORGENSON; STEPHENS; WHITE, 2019).

Países com sistemas educacionais mais avançados tendem a ser mais propensos à inovação, pois a formação de capital humano por meio da educação é vista como um facilitador para a criatividade e a capacidade de resolver problemas (CANTONI *et al.*, 2020). Investimentos em inovação, especialmente com o auxílio de tecnologias limpas e sustentáveis, são vistos como soluções para melhorar a performance ambiental dos países (KIRIKKALELI, 2020).

Além disso, estudos demonstram que o aumento das atividades de P&D está associado às melhorias ambientais, sugerindo que a inovação desempenha papel crucial na proteção do meio ambiente (HALKOS; POLEMIS, 2017; WANG; LI; CHEN, 2022; HAN *et al.*, 2022).

Em suma, a educação está positivamente correlacionada com o desenvolvimento econômico, associado à produção de conhecimento e ao investimento em pesquisa e desenvolvimento. Este ciclo impulsiona a inovação tecnológica voltada para enfrentar os desafios ambientais, indicando uma melhoria na performance ambiental (WENG *et al.*, 2015; CANTONI *et al.*, 2020; KIRIKKALELI 2020; ACOSTA-ORMAECHEA *et al.*, 2021), fornecendo uma base de apoio para a exploração da terceira hipótese desta pesquisa (H3), isto é, há uma relação positiva e estatisticamente significativa entre o ambiente inovador e a performance ambiental.

### 3 Metodologia

As seções que seguem versam detalhadamente a metodologia aplicada nessa pesquisa, explorando as interações das variáveis abordadas e o processo de validação das hipóteses propostas nesta pesquisa.

#### 3.1 Coleta e análise de dados

O objetivo deste estudo foi examinar a relação entre o ambiente inovador, representado nesta pesquisa pela expectativa de vida escolar, investimento em P&D e o Índice Global de Inovação (IGI) com o desenvolvimento econômico e a performance ambiental. O período de análise foi o ano de 2022, durante o qual foram analisados 65 países. A escolha do período baseou-se pela disponibilidade mais recente dos dados. A amostra selecionada foi delimitada pela disponibilidade das informações relativas ao Índice de Performance Ambiental e % de PIB per capita investido para inovação, eliminando-se os países que não apresentavam tais resultados ou cujos resultados eram nulos (iguais a zero).

O ambiente inovador foi medido através do IGI, um dos principais indicadores de inovação que utiliza uma série de indicadores para avaliar o ambiente de inovação em cada país, bem como o percentual do PIB investido em P&D, assim como a expectativa de vida escolar dos países analisados. Os dados foram obtidos de WIPO (2022) e *World data bank* (2024).

Já a performance ambiental foi medida por meio do EPI, indicador que fornece um resumo baseado em dados do estado da sustentabilidade de cada país. Por fim, o desenvolvimento econômico de cada nação foi medido pelo PIB per capita, cujos dados estão disponíveis em *World data bank* (2024).

#### 3.2 Modelo teórico proposto

Nesta pesquisa foi proposto um construto, intitulado “ambiente inovador”. O modelo teórico proposto neste estudo pode ser observado na Figura 6.

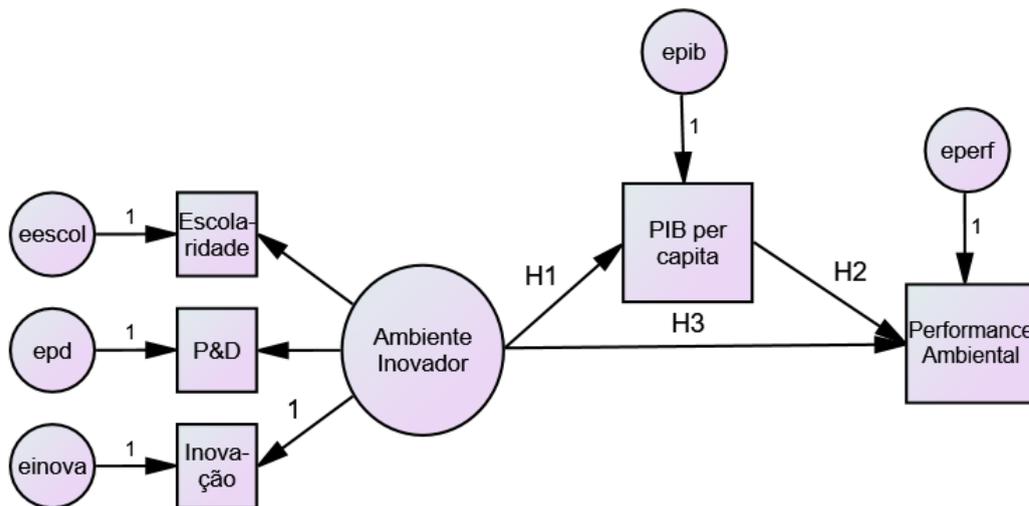


Figura 6 – Modelo teórico.  
Fonte: Elaboração própria (2024).

O modelo teórico proposto é formado pelo construto “ambiente inovador”, formado pelas variáveis: inovação, investimentos em P&D e educação. Os círculos menores, como exemplo, *eescol*, *epd*, *einova*, representam os erros das variáveis medidas que formam o construto.

Por fim, as setas entre os construtos indicam o sentido da relação causal que dão forma as seguintes hipóteses:

H1: há uma relação positiva e estatisticamente significativa entre o ambiente inovador e o PIB per capita.

H2: existe uma relação estatisticamente significativa entre o desenvolvimento econômico e a performance ambiental.

H3: há uma relação positiva e estatisticamente significativa entre o ambiente inovador e a performance ambiental.

### 3.3 Validação dos construtos e do modelo

A validação dos construtos e do modelo proposto foi conduzida por meio de análise de equações estruturais (SEM). Durante esse processo, foi verificada a unidimensionalidade dos construtos e sua confiabilidade utilizando o Alfa de Cronbach e o índice de confiabilidade Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), que é uma medida de adequação de amostra para análise fatorial exploratória (EFA) ou análise de componentes principais (PCA), avaliando quão bem os dados são adequados para realizar essas análises (HAIR *et al.*, 2009).

De acordo com Hair *et al.* (2009), o valor do KMO varia de 0 a 1, e uma pontuação

mais alta indica uma melhor adequação dos dados para a análise fatorial. Em geral, valores acima de 0,6 são considerados aceitáveis, valores acima de 0,7 são considerados bons e valores acima de 0,8 são considerados excelentes. Em amostras pequenas, pode haver uma tendência de subestimar a adequação dos dados para análise fatorial exploratória (EFA) ou análise de componentes principais (PCA). Logo, para este trabalho foram considerados valores superiores a 0,6, como indicativos de qualidade (HAIR *et al.*, 2009).

Além disso, o teste de Esfericidade de Bartlett é crucial para avaliar se há correlação significativa entre as variáveis no conjunto de dados. Esse teste avalia a hipótese nula de que a matriz de correlação é uma matriz de identidade, o que implicaria que não há relação entre as variáveis e, portanto, a análise fatorial ou de componentes principais não seria apropriada.

Em suma, os índices de ajuste absoluto, como a estatística Qui-quadrado, Qui-quadrado relativo, *Root Mean Square Residual* (RMSR), *Root Mean Square Error of Approximation* (RMSEA) e *Goodness-of-Fit Index* (GFI), serão utilizados para avaliar a adequação do modelo. Por outro lado, os índices de ajuste incremental, como o *Normed Fit Index* (NFI), *Comparative Fit Index* (CFI) e *Tucker-Lewis Index* (TLI), serão empregados para determinar o grau de ajuste do modelo em relação a modelos alternativos. Ademais, a significância dos coeficientes estimados será avaliada individualmente para verificar a influência de cada variável no modelo proposto.

#### **4 Resultados e discussões**

Neste estudo, foram utilizados dados secundários do ano de 2022, oferecendo uma visão panorâmica das interações entre inovação, investimento em P&D, desenvolvimento econômico, educação e desempenho ambiental em escala global. A amostra selecionada compreendeu 65 nações, limitada pela disponibilidade dos dados. Esses países representam 33% do globo terrestre. Sua seleção é destacada em verde, conforme a Figura 7.



países apresenta uma rica diversidade em termos de desenvolvimento econômico, cultura, geografia, sistemas políticos e envolvimento em assuntos globais, refletindo a complexidade e a interconexão do mundo contemporâneo (ONU, 2023), como exibe a Tabela 12.

Tabela 12 - Mínimo, máximo, média, mediana, assimetria e curtose das variáveis utilizadas na pesquisa

Variável	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Assimetria	Curtose*
Índice Global de Inovação	11,91	64,62	38,82	37,55	-0,01	-0,90
Índice de Performance Ambiental	19,40	77,90	50,22	51,10	-0,17	-0,59
PIB per capita (em US\$)	2.518,90	140.616,40	44.468,16	41.740,90	1,09	1,58
Expectativa de vida escolar	7,42	20,28	15,45	15,77	-0,68	0,87
% do PIB investido em P&D	0,04	5,56	1,39	1,04	1,14	0,94

Legenda: % indica o percentual; \*indica o excesso de curtose.

Fonte: Elaboração própria (2024).

A Tabela 12 fornece uma avaliação completa das variáveis utilizadas nesta pesquisa, oferecendo *insights* sobre inovação, performance ambiental, PIB per capita, expectativa de vida escolar e investimento em P&D nos países analisados. Os valores de mínimo, máximo, média, mediana, assimetria e excesso de curtose revelam as disparidades marcantes entre esses indicadores-chave.

Observa-se que o índice de inovação varia de 11,91 a 64,62, indicando consideráveis diferenças nos níveis de inovação entre os países. A assimetria próxima a zero (0,06) e o excesso de curtose (-0,90) sugerem uma distribuição relativamente simétrica, destacando a heterogeneidade na adoção de práticas inovadoras.

Analisando-se o Índice de Performance Ambiental, a variação de 19,40 a 77,90 evidencia disparidades na sustentabilidade ambiental. A assimetria negativa (-0,17) e o excesso de curtose (-0,59) apontam para uma distribuição mais inclinada a valores mais altos, indicando práticas ambientais mais sustentáveis em alguns países. O PIB per capita exibe uma diversidade notável, variando de US\$ 2.518,90 a US\$ 140.616,40. A assimetria positiva (1,09) e o excesso de curtose (1,58) indicam uma inclinação para valores mais elevados, refletindo discrepâncias significativas no desenvolvimento econômico entre os países.

A expectativa de vida escolar varia de 7,42 a 20,28, evidenciando diferenças nos sistemas educacionais. A assimetria negativa (-0,68) e o excesso de curtose (0,87) sugerem uma inclinação para valores mais altos, destacando a importância da educação para valores sustentáveis.

Por sua vez o percentual do PIB investido em P&D mostra variação de 0,04% a 5,56%, indicando diferentes prioridades nacionais em pesquisa e desenvolvimento. A assimetria positiva (1,14) e o excesso de curtose (0,94) indicam uma distribuição mais

inclinada para valores mais altos.

Essa análise revela nuances importantes nas características desses indicadores nos países estudados. Tais disparidades são cruciais para compreender as complexas relações entre inovação, performance ambiental, desenvolvimento econômico, educação e investimento em P&D, destacando a necessidade de abordagens diferenciadas ao formular políticas para promover o desenvolvimento sustentável em escala global. Logo, a modelagem proposta neste trabalho é necessária. Inicialmente, realizou-se a análise fatorial exploratória do construto "ambiente inovador", composto pelas variáveis: expectativa de vida escolar, percentual do PIB investido em P&D e Índice Global de Inovação.

O teste Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) é uma medida de adequação de amostra para análise fatorial exploratória (EFA) ou análise de componentes principais (PCA). Ele avalia quão bem os dados são adequados para realizar essas análises. O valor do KMO varia de 0 a 1, e uma pontuação mais alta indica uma melhor adequação dos dados para a análise fatorial. Em geral, valores acima de 0,6 são considerados aceitáveis, valores acima de 0,7 são considerados bons, e valores acima de 0,8 são considerados excelentes. Em amostras pequenas, pode haver uma tendência de subestimar a adequação dos dados para análise fatorial exploratória (EFA) ou análise de componentes principais (PCA). Apesar disso, o valor do teste KMO foi igual a 0,641, indicando que o construto "ambiente inovador" possui uma adequação razoável para a realização de análise fatorial exploratória. Embora a pontuação esteja abaixo do limite considerado como excelente (0,8), ainda é considerada aceitável para prosseguir com a análise.

A análise dos resultados do Teste de Esfericidade de Bartlett é crucial para avaliar se há correlação significativa entre as variáveis no conjunto de dados. Esse teste avalia a hipótese nula de que a matriz de correlação é uma matriz de identidade, o que implicaria que não há relação entre as variáveis e, portanto, a análise fatorial ou de componentes principais não seria apropriada.

Nesta pesquisa, o valor significativamente baixo do Teste de Esfericidade de Bartlett (igual a 0,000) sugere que a matriz de correlação não é uma matriz de identidade, indicando que há uma correlação significativa entre as variáveis. Isso fornece suporte adicional para a utilização da análise fatorial exploratória no contexto do construto "ambiente inovador". É comum observar um KMO razoável (como o valor de 0,641) em conjunto com um Teste de Esfericidade de Bartlett altamente significativo, pois ambos os testes abordam aspectos diferentes da adequação dos dados para a análise fatorial. Neste cenário, apesar do KMO não ser excelente, o teste de Bartlett indica que há estrutura subjacente nos dados que justifica a

aplicação da análise fatorial exploratória.

A análise fatorial exploratória utilizando o Ômega de McDonald para avaliar o construto "ambiente inovador" proporcionou *insights* sobre a estrutura subjacente dos dados. Inicialmente, a consistência interna foi examinada por meio do coeficiente Alpha de Cronbach, revelando um valor sólido de 0.87 e indicando uma boa coesão entre os itens do construto. Além disso, a confiabilidade composta e o Ômega Hierarchical, com valores de 0.85 e 0.82, respectivamente, demonstraram a confiabilidade global do modelo. A análise da variância explicada indicou que 91% da variabilidade nas variáveis estava relacionada aos fatores comuns, denotando uma explicação substancial da estrutura subjacente do construto "ambiente inovador". Em síntese, os resultados globais propõem que o modelo de fatores proposto é robusto e adequado para representar eficazmente o construto "ambiente inovador", conforme mostra a Tabela 13.

Tabela 13 - Valores do índice de ajuste, autores e valores de referência

Índices de ajuste	Autor de referência	Valor de referência	Valor
Razão Qui-quadrado	Carmines e Mciver (1981)	<3,00	1,47
GFI	Byrne (2013)	>0,95	0,97
CFI	Byrne (2013)	>0,95	0,99
TLI	Hu e Bentler (1999)	>0,95	0,97
IFI	Bollen (1989)	>0,90	0,99
RMSEA	Steiger (2007)	<0,10	0,09
RMSR	Hooper; Coughlan; Mullen (2008)	<0,05	NA**

Legenda: \* Razão qui-quadrado pelos graus de liberdade (df). \*\* Não Aplicável.

Fonte: Elaboração Própria (2024).

Depois da análise fatorial exploratória, procedeu-se com a Modelagem de Equações Estruturais, conforme o modelo inicialmente proposto no capítulo de metodologia. Os resultados são apresentados na Tabela 13. A avaliação dos índices de ajuste na tabela fornece *insights* sobre a adequação do modelo. A razão qui-quadrado ( $\chi^2/df$ ) revela um valor de 1.47, indicando uma adequação satisfatória do modelo, visto que está abaixo do limite estabelecido por Carmines e Mciver (1981). O *Goodness of Fit Index* (GFI), *Comparative Fit Index* (CFI), *Tucker-Lewis Index* (TLI) e *Incremental Fit Index* (IFI) excedem substancialmente os valores de referência, destacando uma excelente concordância do modelo com os dados, de acordo com as referências de Byrne (2013) e Hu e Bentler (1999). O *Root Mean Square Error of Approximation* (RMSEA), com um valor de 0.09, encontra-se abaixo do limite de 0.10 sugerido por Steiger (2007), reforçando uma boa adaptação do modelo.

Além disso, de acordo com Sivo *et al.* (2006), o *Root Mean Square Residual* (RMSR) é sensível ao tamanho da amostra. Eles afirmam que o valor de corte ótimo para o este indicador varia com o tamanho da amostra e que, em geral, os valores de corte para o RMSR

umentam à medida que o tamanho da amostra aumenta. Como a amostra é pequena (65 países) optou-se por não calcular esse índice. Em síntese, a análise desses índices revela que a modelagem de equações estruturais mantém um ajuste robusto aos dados. Oportuno destacar os elevados valores de GFI, CFI, TLI e IFI, que indicam uma excelente concordância do modelo com a estrutura subjacente. O RMSEA, embora ligeiramente acima do limite, continua dentro de um intervalo aceitável, o que fortalece e valida o modelo representado na Tabela 14.

Tabela 14 - Cargas diretas estimadas (padronizadas) do modelo

Variável	Direção	Variável	Carga	Probabilidade
Índice Global de Inovação (IGI)	<---	Ambiente Inovador	0,967	0,000
Expectativa de vida escolar	<---	Ambiente Inovador	0,677	0,000
% do PIB investido em P&D	<---	Ambiente Inovador	0,720	0,000
PIB per capita (em US\$)	<---	Ambiente Inovador	0,658	0,000
Índice de Performance Ambiental (EPI)	<---	Ambiente Inovador	0,516	0,000
Índice de Performance Ambiental (EPI)	<---	PIB per capita (em US\$)	0,290	0,019

Fonte: Elaboração própria (2024).

A Tabela 14 apresenta as cargas diretas estimadas do modelo final, as quais indicam a relação entre as variáveis latentes e observadas. Observa-se ainda, que todas as variáveis do construto "ambiente inovador" apresentam cargas positivas significativas, especificamente, a expectativa de vida escolar, o investimento em P&D e o PIB per capita, sugerindo uma forte influência do construto "ambiente inovador" sobre o PIB per capita e a performance ambiental.

Primeiramente, as cargas diretas estimadas indicam a forte influência do ambiente inovador sobre o IGI, com uma carga altamente significativa de 0,967. Isso está em linha com os achados de Leal Filho, Salvia e Eustachio (2022), que destacam a importância de criar um ambiente propício à inovação para promover o progresso tecnológico e o desenvolvimento econômico.

Além disso, a expectativa de vida escolar e o percentual do PIB investido também em P&D mostram cargas significativas de 0,677 e 0,720, respectivamente, no "ambiente inovador". Gyimah, Appiah e Appiagyeyi (2023) fornecem evidências adicionais ao destacar a relação positiva entre a educação e os investimentos em pesquisa e desenvolvimento com a capacidade de inovação de um país.

Outro resultado relevante é a carga substancial de 0,658 do PIB per capita no ambiente inovador. Isso está em consonância com os achados de Acemoglu e Angrist (2019) e Dempere

*et al.* (2023), uma vez que afirmam que um maior desenvolvimento econômico está associado a um ambiente mais propício à inovação.

Além disso, o Índice de Performance Ambiental apresenta uma carga significativa de 0,516 no ambiente inovador, indicando uma relação positiva entre inovação e performance ambiental. Este resultado é consistente com as descobertas de Koengkan, Kazemzadeh e Fuinhas (2022) e Wang, Li e Chen (2022), que destacam a sinergia entre inovação, crescimento econômico e qualidade ambiental.

No final, os resultados revelam que a partir de um ambiente inovador, gerado pelos investimentos em educação, pesquisa e inovação, pode desempenhar um papel fundamental na promoção do desenvolvimento econômico sustentável e na performance ambiental. Isso indica que há forte influência do construto "ambiente inovador" sobre o PIB per capita e a performance ambiental e que países que investem em educação e inovação tendem a apresentar melhores indicadores econômicos e ambientais. Para melhor analisar as hipóteses da pesquisa, optou-se por apresentar os resultados da modelagem de equações estruturais na forma de uma figura, conforme destacado abaixo.

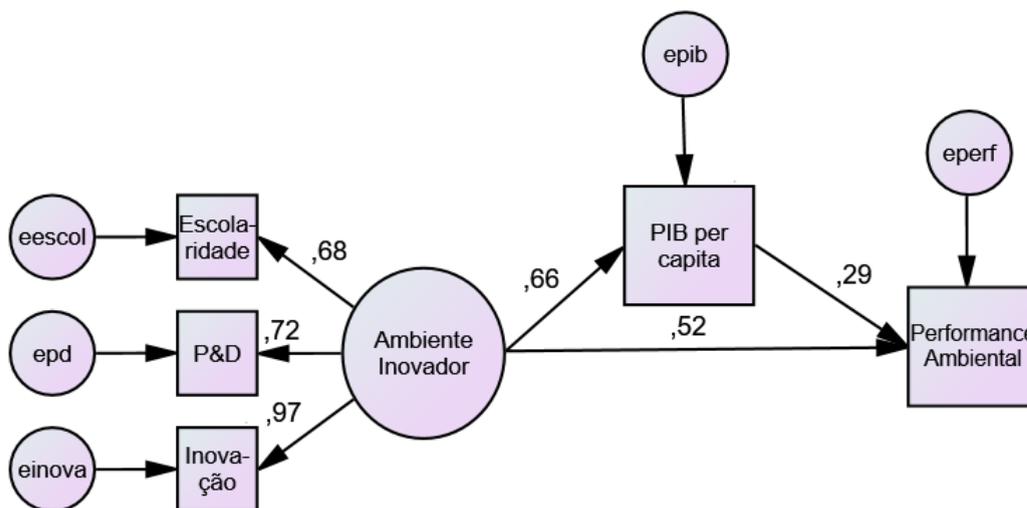


Figura 8 – Modelo teórico  
Fonte: Elaboração própria (2024).

Observa-se que a Figura 8 revela associações positivas e estatisticamente significantes entre o ambiente inovador, o PIB per capita e o Índice de Performance Ambiental (EPI) dos países analisados, destacando uma ligação robusta do ambiente inovador com as demais variáveis. Esses resultados corroboram com as teorias propostas por Anser, Alharthi e Aziz (2020), Dinca *et al.* (2022), Khan e Khan (2023) e Adeel-Farooq, Raji e Qamri (2023), que sustentam a intrincada relação entre tais variáveis.

O resultado da carga direta estimada (0,658,  $p=0,000$ ) na Figura 8, indica uma

associação positiva e estatisticamente significativa entre o construto denominado de “ambiente inovador” (formado pelo Índice Global de Inovação, pela expectativa de vida escolar e pelo percentual do PIB investido em P&D) e o desenvolvimento econômico (medido pelo PIB per capita). Essa constatação é respaldada por autores como Wu, Wang e Zhang (2020), Wei e Lihua (2023) e Wang, Li e Chen (2022), que ressaltam a importância do ambiente inovador para impulsionar o desenvolvimento econômico. A consistência desses resultados fortalece a validade da hipótese 1 levantada neste estudo.

Por outro lado, a carga direta estimada entre o Índice de Performance Ambiental (EPI) e o PIB per capita (0,290,  $p=0,019$ ) apoia a hipótese 2. Esta associação positiva indica que o desenvolvimento econômico está relacionado a uma melhoria na qualidade ambiental. A interpretação desses resultados está em conformidade com a visão complexa apresentada por Caravaggio (2020) e Hajighasemi *et al.* (2022), que destacam a importância de considerar a relação multifacetada entre desenvolvimento econômico e performance ambiental.

A carga direta significativa entre o ambiente inovador e o Índice de Performance Ambiental (EPI) (0,516,  $p=0,000$ ) respalda a hipótese 3. Essa relação positiva e estatisticamente significativa sugere que um ambiente inovador está associado a uma melhor performance ambiental dos países. Essa conclusão é consistente com as perspectivas de Cantoni *et al.* (2020), Kirikkaleli *et al.* (2020) e Dinca *et al.* (2022), os quais apontam a influência positiva de sistemas educacionais robustos e investimentos em P&D na promoção de práticas sustentáveis e ambientes inovadores.

Por fim, observa-se que, para a amostra selecionada, o cerne de todo o processo de desenvolvimento econômico e melhoria na qualidade ambiental reside nos investimentos estratégicos em educação, inovação em pesquisa e desenvolvimento (P&D). Este entendimento é respaldado por uma gama diversificada de autores, cujas perspectivas convergentes fortalecem a conclusão de que tais investimentos são fundamentais para impulsionar resultados positivos em ambos os domínios.

Wu, Wang e Zhang (2020), Wei e Lihua (2023), e Wang, Li e Chen (2022) destacam a importância crucial do ambiente inovador no fomento ao desenvolvimento econômico. Essa visão ressalta que a inovação, alimentada por condições econômicas, sociais e institucionais favoráveis, é um motor essencial para o progresso econômico e social. A análise dos resultados da Figura 7, com cargas diretas positivas entre variáveis do ambiente inovador e o PIB per capita, corrobora essa perspectiva, consolidando a ideia de que um ambiente propício à inovação impulsiona o crescimento econômico.

Por outro lado, a importância da educação no contexto do desenvolvimento econômico

é enfatizada por Cantoni *et al.* (2020), Kirikkaleli *et al.* (2020) e Dinca *et al.* (2022), os quais argumentam que a educação desempenha um papel crucial na promoção de ambientes inovadores e práticas sustentáveis. A ligação entre maiores níveis educacionais e a capacidade de desenvolver inovações sustentáveis é evidenciada pelos resultados da Figura 7, que mostram associações positivas entre a expectativa de vida escolar, o PIB per capita e a performance ambiental dos países analisados.

De outra forma, a interseção entre desenvolvimento econômico e desafios ambientais é explorada por Paiva *et al.* (2018), Caravaggio (2020), Kirikkaleli (2020) e Hajighasemi *et al.* (2022). A carga direta estimada entre o Índice de Performance Ambiental (EPI) e o PIB per capita reflete a complexidade dessa relação. A visão de Caravaggio (2020), que destaca a necessidade de mudanças em práticas sustentáveis, e a perspectiva de Hajighasemi *et al.* (2022), que ressalta os desafios financeiros associados à baixa performance ambiental, encontram respaldo nesses resultados, indicando que o desenvolvimento econômico está ligado a melhorias na qualidade ambiental.

Assim sendo, fica evidente que, para a amostra selecionada, o investimento estratégico em educação, aliado à promoção de ambientes inovadores por meio de pesquisas e desenvolvimento, emerge como a pedra angular para alcançar resultados positivos tanto no cenário econômico, medido pelo PIB per capita, quanto na qualidade ambiental, avaliada pelo Índice de Performance Ambiental. Essa abordagem integrada, sustentada pelos fundamentos teóricos apresentados por diversos autores, oferece uma perspectiva abrangente e embasada para orientar políticas e práticas que visam o desenvolvimento sustentável.

## **5 Considerações finais**

Neste estudo, foi realizada uma análise mais profunda dos dados secundários de 2022, utilizando uma amostra representativa de 65 nações. Isso proporcionou uma visão abrangente das complexas interações entre inovação, investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D), desenvolvimento econômico, educação e desempenho ambiental em escala global. A modelagem de equações estruturais, fundamentada no referencial teórico apresentado, revelou resultados significativos com implicações teóricas e práticas relevantes.

Observou-se associações positivas e estatisticamente significativas entre o ambiente inovador, o PIB per capita e o Índice de Performance Ambiental (EPI). Ademais, os resultados sugerem que investimentos estratégicos em educação e inovação desempenham um papel crucial no impulsionamento do desenvolvimento econômico, bem como na melhoria da

qualidade ambiental. Essa conclusão reforça a complexidade da relação entre desenvolvimento econômico e sustentabilidade ambiental, corroborando as perspectivas apresentadas por Caravaggio (2020) e Hajjighasemi *et al.* (2022). As descobertas, respaldadas por Dinca *et al.* (2022) e Cantoni *et al.* (2020), enfatizam a importância de sistemas educacionais robustos e investimentos em P&D na promoção de práticas sustentáveis e ambientes inovadores, muito além do desenvolvimento econômico, também evidente nessa pesquisa.

As implicações teóricas desses resultados revelam que o cerne do desenvolvimento econômico e da melhoria na qualidade ambiental reside nos investimentos estratégicos em educação e inovação. Essa conclusão fortalece a base teórica apresentada por diversos autores, entre eles Wu, Wang e Zhang (2020), Wei e Lihua (2023), e Wang, Li e Chen (2022), os quais ressaltam a importância crucial do ambiente inovador no fomento ao desenvolvimento econômico.

Do ponto de vista prático, a pesquisa oferece orientações valiosas para formuladores de políticas e tomadores de decisão. A abordagem integrada proposta, sustentada por evidências empíricas robustas, indica que investimentos em educação, inovação e P&D podem ser catalisadores eficazes para o desenvolvimento sustentável. Países que adotam estratégias focadas nesses elementos têm a oportunidade de promover tanto o crescimento econômico quanto a sustentabilidade ambiental.

Neste contexto, é relevante considerar que os resultados obtidos nesta pesquisa podem se tornar ainda mais evidentes e impactantes quando direcionados para investimentos específicos em educação e inovação verde. A promoção de uma educação voltada para a sustentabilidade e a inovação verde pode potencializar os efeitos positivos tanto no desenvolvimento econômico quanto na performance ambiental.

Ao canalizar investimentos em programas educacionais que priorizam a conscientização ambiental, práticas sustentáveis e tecnologias verdes, os países podem não apenas fortalecer a relação entre o ambiente inovador e o desenvolvimento econômico, mas também intensificar a influência positiva sobre a performance ambiental. Isso pode ser particularmente relevante, considerando os desafios globais relacionados às mudanças climáticas e à necessidade premente de práticas mais sustentáveis.

Dessa forma, a pesquisa sugere que políticas públicas que incentivem não apenas a inovação em geral, mas especificamente a inovação verde, aliada a investimentos contínuos em educação voltada para a sustentabilidade, podem desencadear sinergias significativas. Essas sinergias podem resultar em uma transformação mais robusta e duradoura,

impulsionando não apenas o crescimento econômico, mas também a qualidade ambiental.

Portanto, a implementação estratégica de investimentos em educação e inovação verde pode ser vista como uma oportunidade para aprimorar ainda mais os resultados apresentados, fornecendo uma abordagem mais alinhada com as demandas atuais de sustentabilidade global. Esta perspectiva ressalta a importância de considerar não apenas a quantidade, mas também a qualidade desses investimentos, garantindo que estejam alinhados com os princípios da economia verde e da preservação ambiental.

Apesar dos resultados promissores apresentados nesta pesquisa, é importante reconhecer algumas limitações. Primeiramente, a amostra de países selecionados pode não abranger completamente a diversidade global, o que pode afetar a generalização dos resultados para outras regiões do mundo. Além disso, a natureza transversal dos dados impede a inferência de relações causais definitivas entre as variáveis estudadas. Pesquisas futuras poderiam abordar essas limitações incorporando uma amostra mais diversificada e utilizando abordagens longitudinais para explorar melhor as dinâmicas temporais das relações entre inovação, desenvolvimento econômico e qualidade ambiental. Além disso, investigações mais detalhadas poderiam explorar o papel específico dos investimentos em educação e inovação verde, assim como examinar os mecanismos pelos quais esses investimentos podem influenciar os resultados econômicos e ambientais em longo prazo. Essas pesquisas prospectivas poderiam fornecer uma contribuição significativa para a elaboração de políticas mais eficientes e específicas visando impulsionar o desenvolvimento sustentável em escala global.

## Referências

ACEMOGLU, D.; ROBINSON, J. A. **Por que as nações fracassam:** as origens do poder, da prosperidade e da pobreza. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012..

ACEMOGLU, D. *et al.* Transition to clean technology. **Journal of Political Economy**, v.120, n. 1, 2012.

ACOSTA-ORMAECHEA, S. *et al.* The value-added tax and growth: design matters. **Int Tax Public Finance**, v. 28, p. 1211-1241, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10797-021-09681-2#citeas>. Acesso em. 20 jan. 2024 .

ADEEL-FAROOQ, R. M.; RAJI, J. O.; QAMRI, G. M. Does financial development influence the overall natural environment? An environmental performance index (EPI) based insight from the ASEAN countries. **Environment, Development and Sustainability**, v. 25, n. 6, p.5123-5139, 2023. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/358921916\\_Does\\_financial\\_development\\_influence\\_the\\_overall\\_natural\\_environment\\_An\\_Environmenta](https://www.researchgate.net/publication/358921916_Does_financial_development_influence_the_overall_natural_environment_An_Environmenta)

l\_Performance\_Index\_EPI\_based\_insight\_from\_the\_ASEAN\_countries. Acesso em: 18 jul. 2023.

ANSER, M. K.; ALHARTHI, M.; AZIZ, B. Impact of urbanization, economic growth, and population size on residential carbon emissions in the SAARC countries. **Clean Techn Environ Policy**, v. 22, p. 923-936, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10098-020-01833-y#citeas>. Acesso em: 15 jul. 2023.

BALSALOBRE-LORENTE, D. *et al.* The Role of Energy Innovation and Corruption in Carbon Emissions: Evidence Based on the EKC Hypothesis. In: Shahbaz, M., Balsalobre, D. (eds) Energy and Environmental Strategies in the Era of Globalization. **Green Energy and Technology**. Springer, Cham, p 271–304, 2019 Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-06001-5\\_11](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-06001-5_11). Acesso em: 15 maio 2023.

BARBIER, E. B. The concept of sustainable economic development. **Environmental Conservation**, v. 14, 2, p. 101-110, 2017.

BEKUN, V.; ALOLA, A. A.; SARKODIE, S. A. Toward a sustainable environment: Nexus between CO<sub>2</sub> emissions, resource rent, renewable and nonrenewable energy in 16-EU countries. **Sci Total Environ**, n. 657, p. 1023-1029, 2019.

BENGTSSON, M. *et al.* Transforming systems of consumption and production for achieving the sustainable development goals: Moving beyond efficiency. **Sustainability science**, v. 13, p. 1533-1547, 2018.

BIELINSKA-DUSZA, E.; HAMERSKA, M. Methodology for Calculating the European Innovation Scoreboard – Proposition for Modification. **Sustainability**, v. 13, n. 4, p. 1-21, 2021 Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/4/2199>. Acesso em: 15 dez. 2023.

BIERMANN, F. *et al.* Scientific evidence on the political impact of the Sustainable Development Goals. **Nature Sustainability**, v. 5, n. 9, p. 795-800, 2022.

BOLLEN, K A. A new incremental fit index for general structural equation models. **Sociological methods & research**, v. 17, n. 3, p. 303-316, 1989.

BYRNE, B. M. **Structural equation modeling with AMOS: Basic concepts, applications, and programming**. Routledge, 2013.

CANTONI, D., *et al.* The Economic Effects of the Protestant Reformation: Testing the Weber Hypothesis in the German Lands. **Forthcoming, Journal of the European Economic Association**, v. 18, n. 6, p. 3195-3246, 2020. Disponível em: [http://www.davidecantoni.net/pdfs/maxweber\\_jeea\\_paper.pdf](http://www.davidecantoni.net/pdfs/maxweber_jeea_paper.pdf). Acesso em: 18 jan. 2024.

CARMINES, E. G.; MCIVER, J. P. Analyzing Models with Unobserved Variables: Analysis of Covariance Structures. GW Bohrnstedt and EF Borgatta. **Social Measurement**, CA: Sage Publications, 1981.

CEGARRA-NAVARRO, J. G. *et. Al.* Linking social and economic responsibilities with financial performance: The role of innovation. **European Management Journal**, v. 34, n. 5, p. 530-539, oct. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263237316300123>. Acesso em: 14 jan. 2024.

CIOCANEL, A. B.; PAVELESCU, F. M. Innovation and competitiveness in European context. **Procedia Economics and Finance**, v. 32, p. 728-737, 2015. Disponível em: <https://core.ac.uk/reader/82545820>. Acesso em: 19 dez. 2023.

DEMPERE, J. *et al.* The Impact of Innovation on Economic Growth, Foreign Direct Investment, and Self-Employment: A Global Perspective. **Economies**, v. 11, n. 182, p. 1-22, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-7099/11/7/182>. Acesso em: 20 jan. 2024.

DIMA, M. *et al.* The Relationship between the Knowledge Economy and Global Competitiveness in the European Union. **Sustainability**, v. 10, n. 6, p. 1-15, 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/6/1706>. Acesso em: 26 set. 2023.

DINCA, G. *et al.* O Impacto da qualidade da governança e do nível educacional na performance ambiental. **Fronteiras em Ciências Ambientais**, v. 10, 2022. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2022.950683/full>. Acesso em: 18 nov. 2023.

DOYLE, E.; O'CONNOR, F. A. Innovation capacities in advanced economies: Relative performance of small open economies. **Research in International Business and Finance**, v.27, n. 1, p. 106-127, 2013. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/257109706\\_Innovation\\_Capacities\\_in\\_Advanced\\_Economies\\_Relative\\_Performance\\_of\\_Small\\_Open\\_Economies](https://www.researchgate.net/publication/257109706_Innovation_Capacities_in_Advanced_Economies_Relative_Performance_of_Small_Open_Economies). Acesso em: 12 dez. 2023.

EYUBOGLU, K.; USAR, U. A New Perspective to Environmental Degradation: The Linkages between Higher Education and CO<sub>2</sub> Emissions. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 8, 2021. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/343391280\\_A\\_New\\_Perspective\\_to\\_Environmental\\_Degradation\\_The\\_Linkages\\_between\\_Higher\\_Education\\_and\\_CO2\\_Emissions](https://www.researchgate.net/publication/343391280_A_New_Perspective_to_Environmental_Degradation_The_Linkages_between_Higher_Education_and_CO2_Emissions). Acesso em: 18 jan. 2024.

FAGERBERG, J.; MOWERY, D. C.; NELSON, R. R. **The Oxford handbook of innovation**. Oxford University Press, 2015.

GYIMAH, P.; APPIAH, K. O.; APPIAGYEI, K. Seven years of United Nations' sustainable development goals in Africa: A bibliometric and systematic methodological review. **Journal of Cleaner Production**, n. 136422, 2023.

HAIR, J. R. *Et al.* **Análise multivariada de dados**. 6.ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HAIJIGHASEMI, A. *et al.* The impact of welfare state systems on innovation performance and competitiveness: European country clusters. **Journal of Innovation & Knowledge**, v. 7, n. 4, oct-dec. 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2444569X22000725>. Acesso em: 22 jan. 2024.

HALKOS, G.; POLEMIS, M. Does Financial Development Affect Environmental Degradation? Evidence from the OECD Countries. **Business Strategy and the Environment**, Wiley Blackwell, v. 26, 8, p. 1162-1180, dec. 2017. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/wiley/bstrat/v26y2017i8p1162-1180.html>. Acesso em: 12 jan. 2024.

HAN, F. *et al.* Government environmental protection subsidies and corporate green innovation: Evidence from Chinese microenterprises. **Elsevier**, v. 9, 2022. Disponível em: <https://www.elsevier.es/en-revista-journal-innovation-knowledge-376-articulo-government-environmental-protection-subsidies-corporate-S2444569X23001531>. Acesso em: 18 jan.

2024.

HOOPER, D.; COUGHLAN, J.; MULLEN, M. R. Structural equation modelling: guidelines for determining model fit. **Electronic J Business Res Methods**, v. 6, n. 1, p. 53-60. 2008.

HU, L.; BENTLER, P. M. Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. **Structural equation modeling: a multidisciplinary journal**, v. 6, n. 1, p. 1-55, 1999.

JORGENSON, S. N.; STEPHENS, J. C.; WHITE, B. Environmental education in transition: A critical review of recent research on climate change and energy education, **The Journal of Environmental Education**, v. 50, n. 3, p. 160-171, 2019. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00958964.2019.1604478>. Acesso em: 15 jan. 2024.

KASPEROWICZ, R. Economic growth and CO<sub>2</sub> emissions: the ECM analysis. **Journal of International Studies**, v. 8, n 3, p. 91-98, 2015. Disponível em: [https://www.jois.eu/files/07\\_Kasperowicz.pdf](https://www.jois.eu/files/07_Kasperowicz.pdf). Acesso em: 10 jul. 2023.

KHAN, H.; KHAN, I. The role of innovations and renewable energy consumption in reducing environmental degradation in OECD countries: an investigation for Innovation Claudia Curve. **Environmental science and pollution research**, v. 29, n. 29, p. 43800-43813, 2022. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35119641/>. Acesso em: 10 jul. 2023.

KHAN, H.; WEILI, L.; KHAN, I. Institutional quality, financial development and the influence of environmental factors on carbon emissions: evidence from a global perspective. **Environ Sci Pollut Res**, v. 29, p. 13356-13368, 2021. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2021.838714/full>. Acesso em: 22 ago. 2023.

KIRIKKALELI, D. New insights into an old issue: exploring the nexus between economic growth and CO<sub>2</sub> emissions in China. **Environ Sci Pollut Res**, v.27, p. 40777-40786, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10090-x>. Acesso em: 14 jun. 2023.

KOENGGAN, M.; FUINHAS, J. A.; KAZEMZADEH, E. Do financial incentive policies for renewable energy development increase the economic growth in Latin American and Caribbean countries? **Journal of Sustainable Finance & Investment**, v. 14, n.1, p. 161-183, 2022. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/20430795.2022.2031849>. Acesso em: 12 jan. 2024.

KONG, T. How to convert green supply chain integration efforts into green innovation: A perspective of knowledge-based view. **Sustainable Development**, v. 28, n. 5, p. 1106-1121, 2020.

LEAL FILHO, W.; SALVIA, A. L.; EUSTACHIO, J. H. P. P. An overview of the engagement of higher education institutions in the implementation of the UN Sustainable Development Goals. **Journal of Cleaner Production**, v. 386, n. 135694, 2022.

MALERBA, F.; MCKELVEY, M. Innovation as a knowledge-intensive interfirm coordination process: Insights from the empirical evidence. **Journal of Economic Behavior e Organization**, v. 158, p. 187-197, 2019.

NAQVI, S. A. A. *et al.* Environmental sustainability and biomass energy consumption through the lens of pollution Haven hypothesis and renewable energy-environmental kuznets curve. **Renewable Energy**, v. 212, p. 621-631, 2023.

NGUYEN, N. *et al.* Demographics of sustainable technology consumption in an emerging market: The significance of education to energy efficient appliance adoption. **Social Responsibility Journal**, v. 15, n. 6, p. 803-818, 2019.

NGUYEN, T. H.H. *et al.* Environmental performance, sustainability, governance and financial performance: Evidence from heavily polluting industries in China. 2021. **Business Strategy and the Environment**. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/bse.2748>. Acesso em: 24 set. 2023.

O'NEILL, B. C. *et al.* Achievements and needs for the climate change scenario framework. *Nature climate change*, v. 10, n. 12, p. 1074-1084, 2020.

OECD/EUROSTAT. Introduction to innovation statistics and the Oslo Manual, in Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation, 4th Edition, **OECD Publishing**, Paris, 2018. Disponível em: <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/9789264304604-en.pdf?expires=1707078266&id=id&accname=guest&checksum=42FC3834A09C59E3D71926DD03C65CCB>. Acesso em: 12 jan. 2023.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. **Emissions Gap Report**, 2023. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/43922/EGR2023.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Acesso em: 12 ago. 2023.

PAIVA, M. S. *et al.* Interações. *Campo Grande, MS*, v. 19, n. 1, p. 155-170, jan./mar. 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/inter/a/DVkwShDFG99PSxN3tjrndcq/?lang=ptefor mat=pdf>. Acesso em: 15 fev. 2022.

PRASETYIO, H. Effect of product innovation on SMEs performance: The moderating role of organizational learning and market orientation. *International Journal of Business Ecosystem & Strategy (2687-2293)*, **Bussecon International Academy**, v. 5, n. 2, p 47-54, apr. 2023. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/adi/ijbess/v5y2023i2p47-54.html>. Acesso em: 14 jan. 2023.

SHARIF, A. *et al.* Demystifying the links between green technology innovation, economic growth, and environmental tax in ASEAN-6 countries: The dynamic role of green energy and green investment, **Gondwana Research**, v. 115, p. 98-106, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1342937X22003239>. Acesso em: 14 dez. 2023.

SIMÕES, M. S. **Ensaio sobre desempenho socioeconômico, complexidade econômica e performance ambiental**. Tese (Doutorado em Economia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021. Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2021.436>. Acesso em: 18 jul. 2023.

SIVO, S. A. *et al.* The search for optimal cutoff properties: Fit index criteria in structural equation modeling. **The journal of experimental education**, v. 74, n. 3, p. 267-288, 2006.

STEIGER, J. H. Understanding the limitations of global fit assessment in structural equation modeling. **Personality and individual differences**, v. 42, n. 5, p. 893-898, 2007.

WANG, J.; LI, Y.; CHEN, X. Measuring the Relationship between Physical Geographic Features and the Constraints on Ecosystem Services from Urbanization Development. **Sustainability**, v. 14, n. 13, p. 8149, jul. 2022. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/361780509\\_Measuring\\_the\\_Relationship\\_between\\_Physical\\_Geographic\\_Features\\_and\\_the\\_Constraints\\_on\\_Ecosystem\\_Services\\_from\\_Urbanization\\_Development](https://www.researchgate.net/publication/361780509_Measuring_the_Relationship_between_Physical_Geographic_Features_and_the_Constraints_on_Ecosystem_Services_from_Urbanization_Development). Acesso em: 12 jan. 2024.

WEI, Z.; LIHUA, H. Effects of tourism and eco-innovation on environmental quality in selected ASEAN countries. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 15, p.42889-42903, 2023.

WENG, H. *et al.* Effects of green innovation on environmental and corporate performance: a stakeholder perspective. **Sustainability** v. 7, 4997-5026, 2015. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/7/5/4997>. Acesso em: 15 jan. 2024.

WIPO - Organização Mundial da Propriedade Intelectual. **Relatório IGI**. 2022. Disponível em: <https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/pt/wipo-pub-2000-2022-exec-pt-global-innovation-index-2022-15th-edition.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2023.

WORLD DATA BANK. **Data bank**. 2024. Disponível em: <https://data.worldbank.org/>. Acesso em 15 fev. 2023.

WU, W.; WANG, W.; ZHANG, M. Using China's provincial panel data exploring the interaction between Socio-economic and Eco-environment system. **Ecological Complexity**. v.44, n. 100873, dec. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1476945X20301537>. Acesso em: 18 jan. 2024.

YANG, Z.; SHAO, S; FAN, M. Wage distortion and green technological progress: a directed technological progress perspective. **Ecol. Econ.**, v. 181, n. 106912, 2021.

ZHANG, J.; YUAN, J.; WANG, Z. Innovation and environmental performance: A review and research agenda. **Journal of Cleaner Production**, v. 254, n. 120108, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbi/a/xsNFxjrZvHgtFwW9VV8jydc/>. Acesso em: 10 jul. 2023.

ZHANG, Chen; WANG, Yuan; SONG, Xiaowei; KUBOTA, Jumpei; HE, Yanmi; TOJO, Junji e ZHU, Xiaodong. An integrated specification for the nexus of water pollution and economic growth in China: Panel cointegration, long-run causality and environmental Kuznets curve. *Science of The Total Environment*. Volume 609, 2017, Pages 319-328, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.107>.

## 6 Considerações finais gerais

Os estudos abordados neste trabalho oferecem uma visão abrangente das complexas interações entre inovação, desenvolvimento econômico e desempenho ambiental em escala global. Cada artigo, ao analisar diferentes aspectos dessas relações, contribui significativamente para o entendimento dos desafios enfrentados na busca por um desenvolvimento sustentável. Ao integrar os resultados desses estudos, pode-se alcançar conclusões mais sólidas e abrangentes sobre o tema.

O artigo 1 concentrou-se em examinar a relação entre desenvolvimento econômico, inovação e desempenho ambiental em nível global. A partir da análise estatística descritiva, foi possível observar a diversidade e as disparidades existentes entre os países em termos de desempenho ambiental, inovação e desenvolvimento econômico. Essa compreensão inicial ressalta a necessidade de investigar mais a fundo as relações de causa e efeito entre essas variáveis para fornecer orientações valiosas para a promoção da sustentabilidade global. Autores como Acemoglu *et al.* (2012) e Dauda (2019) destacaram a importância de considerar a interconectividade dessas variáveis na formulação de políticas e estratégias de desenvolvimento sustentável.

Ao aplicar testes de estacionariedade, cointegração e causalidade de Granger, foi possível identificar relações de longo prazo entre as variáveis estudadas. Os resultados indicaram a presença de uma relação de equilíbrio de longo prazo entre performance ambiental, inovação e desenvolvimento econômico. Essa descoberta fortalece a hipótese de que há uma relação causal entre essas variáveis, evidenciando a importância de considerar sua interconectividade na formulação de políticas e estratégias de desenvolvimento sustentável.

Além disso, a análise dos resultados do teste de causalidade de Granger revelou uma relação bidirecional entre performance ambiental e inovação, bem como entre performance ambiental e desenvolvimento econômico. Isso sugere que o aumento da performance ambiental pode incentivar a busca por inovação e contribuir para o desenvolvimento econômico, enquanto o desenvolvimento econômico, por sua vez, pode impulsionar investimentos em pesquisa e desenvolvimento para melhorar a performance ambiental.

Uma vez que o artigo 1 nos demonstrou sobre a relação bidirecional das variáveis e sua relação ao longo do tempo, o artigo 2 se torna necessário para expandirmos a análise. Examinando assim, a relação entre o desenvolvimento econômico, inovação e performance ambiental na mesma amostra representativa de países, ou seja, nos mesmos 102 países dentre o período de 2009 a 2022, mas agora sobre a ótica da Curva Ambiental de Kuznets.

Utilizando modelos de regressão não lineares, o estudo analisou dois cenários.

O primeiro cenário entre performance ambiental e desenvolvimento econômico, apontando para a existência de uma relação não linear entre o PIB per capita e o desempenho ambiental, corroborando com a teoria da Curva Ambiental de Kuznets Ambiental. Já no segundo cenário, depois de inserida a variável inovação, passou-se a analisar a Curva Kuznets Modificada, ou Curva Claudia de Inovação. Os resultados revelaram padrões interessantes. Enquanto a inovação linearmente apresentou uma associação positiva com a performance ambiental, indicando que o aumento da inovação está relacionado a uma queda na qualidade ambiental, a análise quadrática e cúbica revelou pontos de inflexão, que se assemelham à forma de um "N", conforme sugerido pela teoria da Curva Ambiental de Kuznets modificada. Isso implica que, inicialmente, o aumento da inovação pode estar associado a um aumento na degradação ambiental, mas em certo ponto crítico, a inovação pode se tornar um fator chave para a melhoria do desempenho ambiental.

Além disso, a análise dos pontos de inflexão permitiu categorizar os países em diferentes estágios de desenvolvimento econômico e inovação, fornecendo insights para a formulação de políticas e estratégias. Países emergentes e subdesenvolvidos, por exemplo, representados pelo Egito e Etiópia, podem se beneficiar de políticas que incentivem a inovação e promovam práticas sustentáveis para impulsionar seu desenvolvimento econômico. Enquanto países desenvolvidos, como a Suíça, podem continuar investindo em tecnologias avançadas e práticas ambientais para manter seu alto desempenho ambiental.

Portanto, este estudo destaca a necessidade de uma abordagem holística e colaborativa para enfrentar os desafios globais de desenvolvimento sustentável. A compreensão das complexas interações entre crescimento econômico, inovação e desempenho ambiental é fundamental para orientar políticas eficazes que visem não apenas o progresso econômico, mas também a preservação do meio ambiente para as gerações futuras. Essencial, portanto, mencionar e reconhecer as contribuições importantes de acadêmicos como Ushifusa e Tomohara (2013), Sharif (2023), e Khan e Khan (2022), cujas pesquisas fortalecem as descobertas deste estudo e enriquecem o corpo de conhecimento sobre o tema.

Por fim, o artigo 3 concentrou-se na influência de um ambiente inovador no crescimento econômico sustentável e na melhoria da performance ambiental em uma amostra de 65 nações, no ano de 2022, oferecendo assim, uma análise abrangente das interações entre inovação, desenvolvimento econômico, educação e performance ambiental.

Através da análise do construto Ambiente Inovador, o trabalho buscou compreender qual a influência deste nas variáveis. A análise dos dados revelou que países que investem em

educação e pesquisa tendem a apresentar maiores índices de inovação e desenvolvimento econômico, como evidenciado pelas teorias de Leal Filho, Salvia e Eustachio (2022), Gyimah *et al.* (2023), Acemoglu e Angrist (2019), e Dempere *et al.* (2023). Além disso, constatou-se uma relação positiva entre inovação e desempenho ambiental, reforçando a sinergia entre crescimento econômico e qualidade ambiental, conforme apontado por Koengkan *et al.* (2022) e Wang *et al.* (2022).

Os resultados do modelo de equações estruturais demonstraram uma forte influência do ambiente inovador sobre o PIB per capita e a performance ambiental, confirmando as hipóteses da pesquisa. Esses achados sugerem que políticas voltadas para o fomento da inovação, aliadas a investimentos em educação e pesquisa, podem não apenas impulsionar o crescimento econômico, mas também promover práticas sustentáveis e melhorar a qualidade ambiental.

Assim, analisando-se o estudo em conjunto, torna-se claro que a interseção entre inovação, desenvolvimento econômico e performance ambiental é multifacetada e intrincada. A inovação, enquanto catalisadora do crescimento econômico, também exige uma gestão cuidadosa de seus impactos ambientais. A complexidade dessa relação destaca a necessidade de políticas que promovam a inovação sustentável, reconhecendo os pontos de inflexão críticos identificados em alguns estudos.

A conclusão transcende a mera confirmação de teorias existentes. Os resultados fortalecem a necessidade premente de abordagens multidisciplinares e colaborativas na formulação de políticas, envolvendo diversos setores da sociedade. A promoção do desenvolvimento econômico sustentável não é um desafio isolado; é um empreendimento coletivo que exige uma compreensão aprofundada das dinâmicas inter-relacionadas e uma resposta adaptativa às mudanças ao longo do tempo.

A integração desses estudos destaca a importância de políticas adaptativas e específicas para diferentes estágios de desenvolvimento, reconhecendo as nuances entre as nações. Uma ênfase contínua na equidade educacional, na inovação e nos investimentos em pesquisa e desenvolvimento é crucial. Ou seja, a construção de um futuro sustentável requer uma abordagem integral, orientada por políticas que incentivem a inovação responsável, considerem a diversidade dos estágios de desenvolvimento econômico e busquem um equilíbrio delicado entre prosperidade econômica e preservação ambiental. Este capítulo final reflete não apenas os resultados tangíveis desses estudos, mas também a chamada para ação em direção a um mundo mais sustentável e equitativo.

## Referências

- ACEMOGLU, D. *et al.* Transition to clean technology. **Journal of Political Economy**, v.120, n. 1, 2012.
- APERGIS, N.; GARCÍA, C. Environmentalism in the EU-28 context: the impact of governance quality on environmental energy efficiency. **Environ Sci Pollut Res**, v. 26, n.36, p. 37012-37025, 2019. Disponível em: <https://doi-org.ez66.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s11356-019-06600>. Acesso em: 14 jul. 2023.
- ADEEL-FAROOQ, R. M.; RAJI, J. O; QAMRI, G. M. Does financial development influence the overall natural environment? An environmental performance index (EPI) based insight from the ASEAN countries. **Environment, Development and Sustainability**, v. 25, n. 6, p.5123-5139, 2023.
- ANSER, M. K.; ALHARTHI, M.; AZIZ, B. Impact of urbanization, economic growth, and population size on residential carbon emissions in the SAARC countries. **Clean Techn Environ Policy**, v. 22, p. 923-936, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10098-020-01833-y>. Acesso em: 21 jun. 2023.
- BALSALOBRE-LORENTE, D. *et al.* The Role of Energy Innovation and Corruption in Carbon Emissions: Evidence Based on the EKC Hypothesis. In: Shahbaz, M., Balsalobre, D. (eds) Energy and Environmental Strategies in the Era of Globalization. **Green Energy and Technology**. Springer, Cham, p 271–304, 2019 Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-06001-5\\_11](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-06001-5_11). Acesso em: 15 maio 2023.
- BELL, A. J.; DEUBZER, O. Lead-free piezoelectrics: The environmental and regulatory issues. **MRS Bulletin**, v. 43, n. 8, p. 581-587, 2018. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/mrs-bulletin/article/abs/leadfree-piezoelectricsthe-environmental-and-regulatory-issues/22839119364C9FB0CC30A1A1B66FE925>. Access em: 12 mar. 2023.
- BHALAJI, R. K. A *et al.* A soft computing methodology to analyze sustainable risks in surgical cotton manufacturing companies. **Sādhanā**, v. 45, p. 1-22, 2020. Disponível em: <https://doi-org.ez66.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s12046-020-1306-7>. Acesso em: 15 jul. 2023.
- BIERMANN, Frank *et al.* Scientific evidence on the political impact of the Sustainable Development Goals. **Nature Sustainability**, v. 5, n. 9, p. 795-800, 2022.
- BOGGIA, A. *et al.* A model for measuring the environmental sustainability of events. **J Environ Manage**, v. 206, p. 836-845, 2018. Disponível em: <https://doi-org.ez66.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.jenvman.2017.11.057>. Acesso em: 15 mar. 2023.
- BOONS, F. *et al.* Sustainable innovation, business models and economic performance: An overview. **Journal of Cleaner Production**, v. 45, p. 1-8, 2013.
- CARAYANNIS, E. G.; CAMPBELL, D. F. J.; REHMAN, S. S. “Happy accidents”: innovation-driven opportunities and perspectives for development in the knowledge economy. **J Innov Entrep** 4, 7 (2015). Disponível em < <https://doi.org/10.1186/s13731-015-0021-9>>. Acesso em: 12 fev. 2023.

CASTELLACCI, F.; NATERA, J. M. The dynamics of national innovation systems: A panel cointegration analysis of the coevolution between innovative capability and absorptive capacity. **Research Policy**, v. 44, n. 10, p. 1882-1894, 2015.

CHEN, Y.; ZHANG, X.; LI, C. Does environmental regulation matter for firm performance? Evidence from China's EPI ranking. **Journal of Cleaner Production**, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119767>. Acesso em; 15 mar. 2023.

DASGUPTA, P.; BALDWIN, R.; STEINBERG, D. A. **The economics of biodiversity: The Dasgupta review**. HM Treasury, United Kingdom, 2021.

DKHILI, H. Environmental Performance and Economic Growth in Middle East and North Africa Countries. **J Health Pollut**, v. 9, n. 24, n.191208, nov. 219. Disponível em: [10.5696/2156-9614-9.24.191208](https://doi.org/10.5696/2156-9614-9.24.191208). Acesso em: 14 fev. 2023.

EPI - Environmental Performance Index report, Yale 2022. Disponível em: <https://epi.yale.edu/epi-results/2022/component/epi>. Acesso em: 15 jan. 2023.

FAKHER, H. A. *et al.* Renewable energy, nonrenewable energy, and environmental quality nexus: An investigation of the N-shaped Environmental Kuznets Curve based on six environmental indicators. **Energy**, v. 263, n.15, jan. 2023. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125660>. Acesso em: 14 jul. 2023.

GAO, X.; FAN, M. The role of quality institutions and technological innovations in environmental sustainability: Panel data analysis of BRI countries. **Plos one**, v. 18, n. 6, p.e0287543, 2023. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0287543>. Acesso em: 15 jul. 2023.

GYIMAH, P.; APPIAH, K. O.; APPIAGYEI, K. Seven years of United Nations' sustainable development goals in Africa: A bibliometric and systematic methodological review. **Journal of Cleaner Production**, n. 136422, 2023.

GROSSMAN, G. M.; KRUEGER, A. B. Environmental impacts of North American freetrade agreement. Nber working paper series. Working paper n.3914 **National Bureau of economic research**. Cambridge: November 1991.

HORBACH, J.; RAMMER, C. Eco-innovation and environmental performance in manufacturing industries: empirical evidence on the basis of firm-level data. **Industry and Innovation**, v. 26, n. 6, p. 699-727, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbi/a/xsNFxjrZvHgtFwW9VV8jydc/>. Acesso em: 14 ago. 2023.

HUSSAIN, N; RIGONI, U.; ORIJ, R. P. Corporate governance and sustainability performance: analysis of triple bottom line performance. **J Bus Ethics**, v. 149, p. 411-432, 2018. Disponível em: <https://doi-org.ez66.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10551-016-30995>. Acesso em: 18 jun. 2023.

KASPEROWICZ, R. Economic growth and CO<sub>2</sub> emissions: the ECM analysis. **Journal of International Studies**, v. 8, n 3, p. 91-98, 2015. Disponível em: [https://www.jois.eu/files/07\\_Kasperowicz.pdf](https://www.jois.eu/files/07_Kasperowicz.pdf). Acesso em: 10 jul. 2023.

KHAN, S.; YAHONG, W. How does economic complexity affect ecological footprint in G-7 economies: the role of renewable and non-renewable energy consumptions and testing EKC

hypothesis. **Environ Sci Pollut Res**, v.29, p. 47647-47660, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-022-19094-1>. Acesso em: 10 jun. 2023.

KHAN, S. A. R. *et al.* Environmental, social and economic growth indicators spur logistics performance: from the perspective of south asian association for regional cooperation countries. **Journal of Cleaner Production**, v. 214, n. 20, p. 1011-1023, mar. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.322>. Acesso em: 15 set. 2023.

LEAL FILHO, W.; SALVIA, A. L.; EUSTACHIO, J. H. P. P. An overview of the engagement of higher education institutions in the implementation of the UN Sustainable Development Goals. **Journal of Cleaner Production**, n. 135694, 2022.

LUO, G. *et al.* A reexamination of the existence of environmental Kuznets curve for CO<sub>2</sub> emissions: evidence from G20 countries. **Nat Hazards**, v. 85, n. 2, p. 1023-1042, 2017. Disponível em: [https://econpapers.repec.org/article/sprnathaz/v\\_3a85\\_3ay\\_3a2017\\_3ai\\_3a2\\_3ad\\_3a10.1007\\_5fs11069-016-2618-0.htm](https://econpapers.repec.org/article/sprnathaz/v_3a85_3ay_3a2017_3ai_3a2_3ad_3a10.1007_5fs11069-016-2618-0.htm)> Acesso em: 12 jul. 2023.

MALERBA, F.; MCKELVEY, M. Innovation as a knowledge-intensive interfirm coordination process: Insights from the empirical evidence. **Journal of Economic Behavior e Organization**, v. 158, p. 187-197, 2019.

MENSAH, C. N. *et al.* The effect of innovation on CO<sub>2</sub> emissions of OCED countries from 1990 to 2014. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, p. 29678-29698, 2018. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30144011/>. Acesso em: 12 jul. 2023.

MUGHAL, N. *et al.* **The role of technological innovation in environmental pollution, energy consumption and sustainable economic growth: Evidence from South Asian economies.** Published by Elsevier Ltd., 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X21001309>. Acesso em: 12 jul. 2023.

OECD - EUROSTAT. Introduction to innovation statistics and the Oslo Manual", in Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation, 4th Edition, OECD Publishing, Paris. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/9789264304604-4-en>. Acesso em: 10 jan. 2023.

ORGANIZAÇÕES DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. **Emissions Gap Report.** 2023. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/43922/EGR2023.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Acesso em: 18 ago. 2023.

OSTERGAARD, P. *et al.* **Renewable energy for sustainable development.** Renewable Energy, 2022.

PAIVA, M. S. *et al.* Inovação e os efeitos sobre a dinâmica de mercado: uma síntese teórica de Smith e Schumpeter. **Interações.** Campo Grande, MS, v. 19, n. 1, p. 155-170, jan./mar. 2018. Disponível em: [https://www.scielo.br/j/inter/a/DVkwShDFG99PSxN3tjrndcq/?lang=ptefor mat=pdf](https://www.scielo.br/j/inter/a/DVkwShDFG99PSxN3tjrndcq/?lang=ptefor%20mat=pdf). Acesso em: 15 fev. 2022.

PARAMATI SR, ALAM MS, CHEN CF. The effects of tourism on economic growth and CO<sub>2</sub> emissions: a comparison between developed and developing economies. **J Travel Res** 56(6):712-724, 2016.

SANTOS, W. D. S. **Neutralização de carbono:** uma proposta ao Plano Regional de

Desenvolvimento da Amazônia. 2022. 124 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Pública). Universidade Federal do Pará, Belém, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/15605>. Acesso em: 18 fev. 2023.

SHAHBAZ, M. *et al.* Does financial development reduce CO<sub>2</sub> emissions in Malaysian economy? A time series analysis, **Economic Modelling**, v.35, p. 145-152, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2013.06.037>. Acesso em: 12 jul. 2023.

SHAHBAZ, M.; NASIR, M. A.; ROUBAND, D. Environmental degradation in France: the effects of FDI, financial development, and energy innovations. **Energy Econ**, v. 74, p. 843-857, 2018. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/eee/eneeco/v74y2018icp843-857.html>. Acesso em: 18 jul. 2023.

SHARIF, A. *et al.* Demystifying the links between green technology innovation, economic growth, and environmental tax in ASEAN-6 countries: The dynamic role of green energy and green investment, **Gondwana Research**, v. 115, p. 98-106, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1342937X22003239>. Acesso em: 14 dez. 2023.

SHITTU, W. *et al.* An investigation of the nexus between natural resources, environmental performance, energy security and environmental degradation: Evidence from Asia. **Resources Policy**, v. 73, n. 102227, 2021.

SIMÕES, M. S. **Ensaio sobre desempenho socioeconômico, complexidade econômica e performance ambiental**. Tese (Doutorado em Economia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021. Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2021.436>. Acesso em: 18 jul. 2023.

SPALIVIERO, M. *et al.* The spatial development Framework to facilitate urban management in countries with weak planning systems. **Int Plan Stud**, v. 24, p.235-254, 2019. Disponível em: <https://doi-org.ez66.periodicos.capes.gov.br/10.1080/13563475.2019.1658571>. Acesso em: 14 jul. 2023.

SREBOTNJAK, T. Environmental Performance Index. **Wiley Online Library**. 2014. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781118445112.stat03789>. Acesso em: 12 jun. 2023.

SWISS RE INSTITUTE. **The economics of climate change: no action not an option**. 2021. Disponível em: <https://www.swissre.com/institute/research/topics-and-risk-dialogues/climate-and-natural-catastrophe-risk/expertise-publication-economics-of-climate-change.html>. Acesso em: 14 maio 2023.

WANG, T.; LI, X.; CHEN, H. Exploring the determinants of environmental performance: Evidence from the perspective of national culture. **Journal of Cleaner Production**, v. 232, p. 284-292, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.351>. Acesso em: 15 mar. 2023.

WICAKSANA, T. K. Effect of Trade Openness on the Environmental Performance Index in Sub-Saharan Africa. **Journal of Economics and Policy**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.15294/jejak.v15i1.36948>. Acesso em: 14 ago. 2023.

XU, L. *et al.* Heterogeneous green innovations and carbon emission performance: evidence at

China's city level. **Energy Econ.**, 99 Article 105269, 2021. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/eee/eneeco/v99y2021ics0140988321001742.html>. Acesso em: 14 jun. 2023.

YANG, Z. *et al.* Alleviating the misallocation of R&D inputs in China's manufacturing sector: From the perspectives of factor-biased technological innovation and substitution elasticity. **Technol. Forecast. Soc. Chang.**, v. 151, Article 119878, 2020. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/338973592\\_Alleviating\\_the\\_misallocation\\_of\\_RD\\_inputs\\_in\\_China's\\_manufacturing\\_sector\\_From\\_the\\_perspectives\\_of\\_factor-biased\\_technological\\_innovation\\_and\\_substitution\\_elasticity](https://www.researchgate.net/publication/338973592_Alleviating_the_misallocation_of_RD_inputs_in_China's_manufacturing_sector_From_the_perspectives_of_factor-biased_technological_innovation_and_substitution_elasticity). Acesso em: 12 jul. 2023.

YANG, Z.; SHAO, S; FAN, M. Wage distortion and green technological progress: a directed technological progress perspective. **Ecol. Econ.**, 181, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921800920322035>. Acesso em; 14 jul. 2023.

ZAFAR, M. W. *et al.* How renewable energy consumption contribute to environmental quality? The role of education in OECD countries. **Journal of Cleaner Production**, v. 268, n.122149, 2020.

ZHANG, J.; YUAN, J.; WANG, Z. Innovation and environmental performance: A review and research agenda. **Journal of Cleaner Production**, v. 254, n.120108, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbi/a/xsNFxjrZvHgtFwW9VV8jydc/>. Acesso em: 18 jul. 2023.