



Universidade Federal do Ceará
Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade (FEAAC)
Pós-graduação em Economia (CAEN)

GUILHERME DINIZ IRFFI

ENSAIOS SOBRE A RELAÇÃO ENTRE EMISSÃO DE CO₂ E A RENDA GLOBAL

FORTALEZA
2011

GUILHERME DINIZ IRFFI

ENSAIOS SOBRE A RELAÇÃO ENTRE EMISSÃO DE CO₂ E A RENDA GLOBAL

Tese de Doutorado submetida à coordenação do Curso de Pós-Graduação em Economia - CAEN, da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Economia.

Orientador: Prof. Fabrício Carneiro Linhares

FORTALEZA
2011

GUILHERME DINIZ IRFFI

ENSAIOS SOBRE A RELAÇÃO ENTRE EMISSÃO DE CO₂ E A RENDA GLOBAL

Tese submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Economia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Economia.

Aprovada em 30 de novembro de 2011.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Fabrício Carneiro Linhares (Orientador)
Universidade Federal do Ceará – CAEN/UFC

Prof. Roberto Tatiwa Ferreira
Universidade Federal do Ceará – CAEN/UFC

Prof. Edson Paulo Domingues
Universidade Federal de Minas Gerais – CEDEPLAR/UFMG

Prof. Guilherme Valle Moura
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Prof. Francis Carlo Petterini Lourenço
Universidade Federal do Ceará – *Campus* de Sobral

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Pós Graduação em Economia - CAEN

I63e

Irffi, Guilherme Diniz

Ensaio sobre a relação entre emissão de CO₂ e a renda global / Guilherme Diniz Irffi. – 2011.
118f. il. color., enc. ; 30 cm.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós Graduação em Economia,
CAEN, Fortaleza, 2011.

Orientação: Prof. Dr. Fabrício Carneiro Linhares

1. Economia ambiental 2. Atividade Econômica 3. Emissão de Poluentes I. Título.

CDD 363.7

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Kleber Mansur Irffi e Wanda Meire Diniz, pelos ensinamentos, carinho, confiança e as oportunidades a que me foram dispensadas para que fosse possível alcançar os meus objetivos.

A Ana Sara Cortez pela paciência, compreensão e pelo amor dispensado ao longo de todos esses anos.

Ao Prof. Fabrício Linhares, meu orientador, pela atenção e presteza na elaboração da Tese.

Aos membros da banca, Profs. Edson Domingues e Guilherme Valle Moura, por aceitarem o convite para participar da banca e pelas valiosas sugestões para a Tese.

Aos amigos e membros da Banca, os Profs. Francis Petterini e Roberto Tatiwa pelas conversas e contribuições tanto para a Tese quanto para a vida acadêmica.

Aos professores do CAEN pela formação e, especialmente, ao Prof. Ivan Castelar pelas valiosas conversas acadêmicas e afins.

Aos amigos do Programa de Pós-Graduação em Economia da UFC, especialmente, a Alesandra Benevides e Kamila Vieira pela leitura e considerações sobre a Tese e, ainda, ao Christiano Modesto Penna pelas conversas sobre modelos e métodos de estimação de convergência.

Ao Banco do Nordeste do Brasil (BNB) pelo apoio financeiro concedido para a Elaboração de Teses e Dissertações em Economia por meio do edital ETENE/FUNDECI em 2009.

Ao Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) pelo auxílio financeiro concedido por meio do Programa de Fomento à Pesquisa em Desenvolvimento Econômico (PDE) em 2011.

E a todos os demais que contribuíram para a realização deste trabalho.

The only way to have real success in science ... is to describe the evidence very carefully without regard to the way you feel it should be. If you have a theory, you must try to explain what's good about it and what's bad about it equally. In science you learn a kind of standard integrity and honesty. — Richard Feynman

RESUMO

As sociedades aparentemente sempre ignoraram (ou não despenderam atenção suficiente) as externalidades da atividade econômica danosas ao meio ambiente e, como consequência, vem enfrentando seus possíveis efeitos nas últimas décadas. Recentemente, agora mais consciente de suas ações, suas políticas de continuidade do crescimento são geralmente formuladas levando-se em consideração o crescimento o *trade-off* entre crescimento econômico desordenado e preservação ambiental, haja vista que “a ordem do dia” é conciliar aumento da renda com sustentabilidade como a preservação do meio ambiente.

Neste sentido, esta Tese investigou a relação entre as emissões de CO_2 e a atividade econômica, considerando um aspecto global a partir da segunda metade do século XX. No entanto, utiliza-se como mote a literatura de crescimento econômico por considerar que a relação supracitada pode ser analisada a partir da Curva de Kuznets Ambiental, da estimação da tendência da Intensidade de Emissão de CO_2 e da análise de Convergência de Emissão de CO_2 *per capita* (CO_2pc).

De acordo com os resultados alcançados pelos três capítulos, pode-se dizer que para reduzir o nível de emissão de CO_2 e mitigar os efeitos do aquecimento global é preciso estabelecer um novo regime de cotas emissão de CO_2 com mais países do que o que foi acordado com o Protocolo de Quioto e, ainda, contemplar os países em desenvolvimento como China, Índia, México e África do Sul. Ao mesmo tempo, é preciso estabelecer um sistema de tributação para as emissões de gases de efeito estufa (GEE), a fim de permitir alcançar os objetivos de estabilizar e, posteriormente, reduzir os níveis de emissão de maneira mais fácil. Além disso, é preciso que as cotas e a tributação de emissão de CO_2 sejam definidas a partir do nível atual de emissão e da velocidade de convergência para clubes de maior nível de emissão.

No entanto, deve haver regimes de cotas diferenciadas para os países ricos e os países em desenvolvimento, de tal maneira a permitir que estes alcancem os níveis de renda dos países ricos. O regime diferenciado se faz necessário porque os efeitos do aquecimento global sobre a sociedade nos séculos XX e XXI são consequências dos gases alçados a atmosfera terrestre durante os séculos XVIII e XIX. Por isso, cabe aos países desenvolvidos a maior redução das emissões de CO_2 , em função do seu histórico de emissão. Todavia, as nações menos desenvolvidas não podem deixar de participar deste sistema e, ainda, é necessário conciliar crescimento econômico com preservação ambiental de tal forma a mitigar os efeitos do aquecimento global sobre as futuras gerações.

Outra medida que tende a ser eficiente ao combate do aquecimento global é subsidiar o desenvolvimento de fontes alternativas de energia com baixa intensidade de emissão, de tal modo a aumentar a velocidade de convergência para economias de baixa emissão de GEE. Ou seja, é preciso alcançar a eficiência energética a partir do consumo de energia limpa (menos intensiva em emissão de carbono) e, para isto, necessariamente, é preciso substituir os combustíveis fósseis. Além do mais, se faz necessário a transferência de tecnologias com baixa emissão de carbono dos países desenvolvidos para as nações em desenvolvimento a fim de gerar um bem-estar global, uma vez que esta medida tende a aumentar velocidade de convergência para uma economia de baixa emissão de CO_2 .

PALAVRAS-CHAVE: Emissão de CO_2 , Renda *per capita*, Curva de Kuznets Ambiental, Intensidade de Emissão, Clubes de Convergência, Cotas de Emissão.

ABSTRACT

The company apparently always ignored (or did not spend enough attention) externalities of economic activity harmful to the environment and, consequently, is facing its possible effects in recent decades. Recently, now more conscious of their actions, their continued growth policies are usually formulated taking into account the growth the trade-off between economic growth and environmental preservation cluttered, given that "the agenda" is to combine increased income with sustainability and environmental preservation.

Thus, this thesis investigated the relationship between CO₂ emissions and economic activity, considering an overall look from the second half of the twentieth century. However, it is used as a motto the literature of economic growth by considering that the relationship above can be analyzed from the Environmental Kuznets Curve, the estimation of the trend of CO₂ emission intensity and the analysis of convergence Emission CO₂pc.

According to the results achieved by three chapters, one can say that to reduce the level of CO₂ emissions and mitigate the effects of global warming we need to establish a new regime of CO₂ emission quotas with more countries than what has been agreed with the PQ and still contemplate developing countries like China, Índia, México and África do Sul At the same time, we must establish a system of taxation for GHG emissions in order to achieve the desired goals of stabilizing and subsequently reduce the emission levels more easily. Moreover, it is necessary that quotas and taxation of CO₂ emissions are set from the current level of emissions and the speed of convergence for clubs highest emission level.

However, there must be differentiated quotas schemes for the rich countries and developing countries, so allow them to reach the income levels of rich countries. The differentiated regime is necessary because the effects of global warming on society in the XXI century and elevations are consequences of the gas atmosphere during the eighteenth and nineteenth centuries. Therefore, it is for developed countries to further reduce CO₂ emissions, according to their historical emissions. However, less developed nations can not fail to participate in this system and also is a need to reconcile economic growth with environmental preservation in such a way to mitigate the effects of global warming on future generations.

Another measure that tends to be efficient in combating global warming is to support the development of alternative energy sources with low emission intensity, so increasing the speed of convergence for economies with low GHG emissions. That is, we must achieve energy efficiency from the use of clean energy (less carbon-intensive) and, for that necessarily need to replace fossil fuels. Moreover, it is necessary to transfer technologies with low carbon emissions of developed countries to developing nations in order to generate a global welfare, since this measure tends to increase speed of convergence to a low- CO₂ emissions.

KEYWORDS: CO₂ Emissions, Per Capita Income, Environmental Kuznets Curve, emission intensity, convergence clubs, emission quotas.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| GRÁFICO 1.1: CURVA DE KUZNETS NA FORMA DE S PARA O 1º REGIME. | 49 |
| GRÁFICO 1.2: CURVA DE KUZNETS NA FORMA DE S PARA O 2º REGIME. | 49 |
| GRÁFICO 1.3: CURVA DE KUZNETS NA FORMA DE S PARA O 3º REGIME. | 50 |
| GRÁFICO 1.4: CURVA DE KUZNETS NA FORMA DE “U”-INVERTIDO PARA O 4º REGIME. .. | 50 |
| GRÁFICO 2.1: EVOLUÇÃO TEMPORAL DA EMISSÃO DE CO ₂ GLOBAL, 1950 A 2007..... | 58 |
| GRÁFICO 2.2: EVOLUÇÃO TEMPORAL DO PIB GLOBAL, 1950 A 2007..... | 59 |
| GRÁFICO 2.3: EVOLUÇÃO TEMPORAL DA INTENSIDADE DE EMISSÃO DE CO ₂ GLOBAL.... | 60 |
| GRÁFICO 2.4: TAXA DE CRESCIMENTO DO PIB VIS-À-VIS EMISSÃO MÉDIA DE CO ₂ DE 1950 A 1980. | 63 |
| GRÁFICO 2.5: TAXA DE CRESCIMENTO DO PIB VIS-À-VIS EMISSÃO MÉDIA DE CO ₂ DE 1980 A 2007. | 63 |
| GRÁFICO 2.6: TAXA DE CRESCIMENTO DA INTENSIDADE DE EMISSÃO DE CO ₂ | 65 |
| GRÁFICO 2.7: TENDÊNCIA DA INTENSIDADE DE EMISSÃO DE CO ₂ | 68 |
| GRÁFICO 2.8: INTERVALO DE CONFIANÇA, 95%, PARA TENDÊNCIA DA INTENSIDADE DE EMISSÃO DE CO ₂ | 68 |
| GRÁFICO 2.9: TENDÊNCIA DA INTENSIDADE DE EMISSÃO DE CO ₂ , PRÉ E PÓS QUEBRA ESTRUTURAL..... | 71 |
| GRÁFICO 2.10: TENDÊNCIA DA INTENSIDADE DE EMISSÃO DE CO ₂ | 73 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| TABELA 1.1: ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS | 36 |
| TABELA 1.2: MÉDIA E CORRELAÇÃO POR QUARTIL DE RENDA PARA EMISSÃO DE CO ₂ PC E SEUS DETERMINANTES. | 37 |
| TABELA 1.3: MODELOS THRESHOLD COM VARIÁVEIS DE CONTROLE FIXAS..... | 39 |
| TABELA 1.4: MODELOS THRESHOLD COM VARIÁVEIS DE CONTROLE VARIANDO DE ACORDO COM O REGIME | 41 |
| TABELA 1.5: MODELOS THRESHOLD COM VARIÁVEIS DE CONTROLE FIXAS..... | 46 |
| TABELA 1.6: MODELOS THRESHOLD COM VARIÁVEIS DE CONTROLE VARIANDO DE ACORDO COM O REGIME | 47 |
| TABELA 2.1: TAXAS DE CRESCIMENTOS DA EMISSÃO DE CO ₂ , DO PIB E DA CO ₂ /PIB, DE 1950 A 2007. | 61 |
| TABELA 2.2: AS 10 MAIORES E MENORES TAXAS DE CRESCIMENTO DA EMISSÃO DE CO ₂ E DO PIB, DE 1950 A 2007..... | 62 |
| TABELA 2.3: ESTIMATIVAS DA TENDÊNCIA DE CO ₂ /PIB, PERRON E YABU (2009A) | 67 |
| TABELA 2.4: ESTIMATIVAS E TESTE DE MUDANÇA ESTRUTURAL DA TENDÊNCIA DE CO ₂ /PIB, 1950-2007..... | 70 |
| TABELA 2.5: ANO MODAL DA DATA DA QUEBRA ESTRUTURAL..... | 71 |
| TABELA 2.6: ESTIMATIVAS E TESTE DE MUDANÇA ESTRUTURAL DA TENDÊNCIA DE CO ₂ /PIB, 1950-2007..... | 78 |
| TABELA 3.1: ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS VARIÁVEIS..... | 88 |
| TABELA 3.2: TESTE LOG-T – PHILLIPS E SUL (2007), CLUBES DE CONVERGÊNCIA DE CO ₂ PC | 96 |
| TABELA 3.3: TESTE LOG-T – PHILLIPS E SUL (2007), CLUBES DE CONVERGÊNCIA DE PIBPC | 98 |
| TABELA 3.4: CLUBES DE CONVERGÊNCIA IDENTIFICADOS | 103 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| QUADRO 1.1: DESCRIÇÃO DA VARIÁVEIS..... | 34 |
| QUADRO 2.1: PAÍSES SIGNATÁRIOS DO PROTOCOLO DE QUITO..... | 77 |
| QUADRO 2.2: PAÍSES QUE COMPÕE A AMOSTRA..... | 77 |
| QUADRO 3.1: PAÍSES EXCLUÍDOS DA AMOSTRA POR FALTA DE INFORMAÇÕES. | 87 |
| QUADRO 3.2: QUANTIS DA EMISSÃO DE CO ₂ E RENDA PER CAPITA, CONSIDERANDO A MÉDIA ENTRE 1998 E 2007. | 89 |

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

| | |
|--------------------|---|
| AFG | Afeganistão |
| AGO | Angola |
| ALB | Albânia |
| ARG | Argentina |
| ATG | Antígua e Barbuda |
| AUS | Austrália |
| AUT | Áustria |
| BDI | Burundi |
| BEL | Bélgica |
| BEN | Benin |
| BFA | Burkina Faso |
| BGR | Bulgária |
| BHR | Bahrain |
| BHS | Bahamas |
| BLZ | Belize |
| BMU | Bermuda |
| BOL | Bolívia |
| BRA | Brasil |
| BRB | Barbados |
| BRICS | Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul |
| BRN | Brunei |
| CAF | República da África Central |
| CAN | Canada |
| CDIAC | <i>Carbon Dioxide Information Analysis Center</i> |
| CH | China |
| CHE | Suíça |
| CHL | Chile |
| CHN | China |
| CIV | Cote d'Ivoire |
| CKA | Curva de Kuznets Ambiental |
| CMR | Camarões |
| CO | Monóxido de carbono |
| CO ₂ | Dióxido de carbono |
| CO ₂ pc | Dióxido de carbono <i>per capita</i> |
| COG | República Democrática do Congo |
| COL | Colômbia |
| COM | Comoros |
| CPV | Cabo Verde |
| CRI | Costa Rica |
| CUB | Cuba |
| CYP | Chipre |
| DJI | Djibouti |
| DNK | Dinamarca |
| DOM | República Dominicana |
| DZA | Argélia |
| ECU | Equador |

| | |
|-------|--|
| EGY | Egito |
| EIA | <i>Energy International Administration</i> |
| ESP | Espanha |
| ETH | Etiópia |
| FGLS | Mínimos quadrados generalizados factíveis |
| FIN | Finlândia |
| FJI | Fiji |
| FRA | França |
| GAB | Gabão |
| GBR | Inglaterra |
| GEE | Gases de efeito estufa |
| GIN | Guiné |
| GLS | Mínimos Quadrados Generalizados |
| GMB | Gambia, The |
| GNB | Guiné-Bissau |
| GNQ | Guiné Equatorial |
| GRC | Grécia |
| GRD | Granada |
| GTM | Guatemala |
| GUY | Guiana |
| HKG | Hong Kong |
| HND | Honduras |
| HTI | Haiti |
| HUN | Hungria |
| i.i.d | Independente e identicamente distribuído |
| IDN | Indonésia |
| IND | Índia |
| IPCC | <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> |
| IRL | Irlanda |
| IRQ | Iraque |
| ISL | Islândia |
| ISR | Israel |
| ITA | Itália |
| JOR | Jordânia |
| JPN | Japão |
| KEN | Quênia |
| KHM | Camboja |
| KIR | Kiribati |
| KOR | Coreia do Sul |
| LAO | Laos |
| LBN | Líbano |
| LBR | Libéria |
| LKA | Sri Lanka |
| LUX | Luxemburgo |
| MAC | Macau |
| MAR | Marrocos |
| MDG | Madagascar |
| MEX | México |

| | |
|---------------------------|--|
| MLI | Mali |
| MLT | Malta |
| MNG | Mongólia |
| MOZ | Moçambique |
| MQO | Mínimos Quadrados Ordinários |
| MRT | Mauritânia |
| MUS | Maurício |
| MWI | Malauí |
| NER | Níger |
| NGA | Nigéria |
| NIC | Nicarágua |
| NLD | Holanda |
| NO | Óxido de nitrogênio |
| NO ₂ | Dióxido de nitrogênio |
| NOR | Noruega |
| NO _x | Termo genérico para os óxidos de nitrogênio |
| NZL | Nova Zelândia |
| OECD | Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômico |
| OLS | Mínimos Quadrados Ordinários |
| OMN | Omã |
| P&D | Pesquisa e Desenvolvimento |
| PAK | Paquistão |
| PAN | Panamá |
| PER | Peru |
| PHL | Filipinas |
| PIB | Produto Interno Bruto |
| <i>PIBpc</i> | Produto Interno Bruto <i>per capita</i> |
| PIB/km ² | Produto Interno Bruto por Quilômetro Quadrado |
| <i>PIBpc</i> ² | PIBpc ao quadrado |
| <i>PIBpc</i> ³ | PIBpc ao cubo |
| PNG | Papa Nova Guiné |
| POL | Polônia |
| PPC | Paridade do Poder de Compra |
| PQ | Protocolo de Quioto |
| PRI | Porto Rico |
| PRT | Portugal |
| PRY | Paraguai |
| PWT | <i>Penn Word Table</i> |
| ROM | Romênia |
| RWA | Ruanda |
| SDN | Sudão |
| SEM | Senegal |
| SGP | Singapura |
| SLB | Ilhas Salomão |
| SLE | Serra Leoa |
| SLV | El Salvador |
| SO ₂ | Dióxido sulfúrico |
| SQR | Somatório do Quadrado dos Resíduos |

| | |
|------|--|
| STP | São Tome e Príncipe |
| SUR | Suriname |
| SWE | Suécia |
| SYC | Seychelles |
| SYR | Síria |
| TCD | Chade |
| TGO | Togo |
| THA | Tailândia |
| TON | Tonga |
| TTO | Trinida e Tobago |
| TUN | Tunísia |
| TUR | Turquia |
| TWN | Taiwan |
| UGA | Uganda |
| UNDS | Divisão de Estatística das Nações Unidas |
| URY | Uruguai |
| USA | Estados Unidos da América |
| VCT | São Vicente e Granadinas |
| VEM | Venezuela |
| VOCs | Compostos orgânicos voláteis |
| VUT | Vanuatu |
| WSM | Samoa |
| ZAF | África do Sul |
| ZAR | República Democrática do Congo |
| ZMB | Zâmbia |

SUMÁRIO

| | |
|---|------------|
| INTRODUÇÃO..... | 16 |
| A HETEROGENEIDADE DA CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL GLOBAL | 19 |
| 1. INTRODUÇÃO | 19 |
| 2. ASPECTOS TEÓRICOS E EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS SOBRE A CKA..... | 23 |
| 3. METODOLOGIA ECONOMÉTRICA | 27 |
| 4. BASE DE DADOS..... | 31 |
| 4.1 FONTE E DESCRIÇÃO DOS DADOS | 31 |
| 4.2 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS | 35 |
| 5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS | 38 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS | 44 |
| APÊNDICE..... | 46 |
| ANÁLISE DA TAXA DE CRESCIMENTO DA INTENSIDADE DE EMISSÃO DE CO₂ | 51 |
| 1. INTRODUÇÃO | 51 |
| 2. METODOLOGIA ECONOMÉTRICA..... | 54 |
| 3. BASE DE DADOS | 57 |
| 3.1 FONTE E DESCRIÇÃO DOS DADOS | 57 |
| 3.2 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS..... | 58 |
| 4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS | 66 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS | 75 |
| APÊNDICE | 77 |
| ANÁLISE DE CONVERGÊNCIA DE EMISSÃO DE CO₂PC E DE PIBPC | 79 |
| 1. INTRODUÇÃO | 79 |
| 2. EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS SOBRE CONVERGÊNCIA OU DIVERGÊNCIA AMBIENTAL | 83 |
| 3. BASE DE DADOS | 87 |
| 3.1 FONTES E DESCRIÇÃO DOS DADOS | 87 |
| 3.2 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS..... | 88 |
| 4. METODOLOGIA ECONOMÉTRICA..... | 90 |
| 5. CLUBES DE CONVERGÊNCIA: EMISSÃO DE CO ₂ PC E RENDA PER CAPITA..... | 95 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS | 101 |
| ANEXO..... | 103 |
| CONCLUSÃO DA TESE | 104 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 108 |

INTRODUÇÃO

As sociedades aparentemente sempre ignoraram (ou não despenderam atenção suficiente) as externalidades da atividade econômica danosas ao meio ambiente e, como consequência, vem enfrentando seus possíveis efeitos nas últimas décadas. Recentemente, agora mais consciente de suas ações, suas políticas de continuidade do crescimento são geralmente formuladas levando-se em consideração o *trade-off* entre o aumento da renda e preservação do meio ambiente, haja vista que *a ordem do dia* é conciliar crescimento econômico com sustentabilidade ambiental.

A preocupação com a relação entre crescimento e degradação do meio ambiente decorre, sobretudo, das incertezas sobre as causas das alterações climáticas e os efeitos que elas possam exercer sobre a atividade econômica e o bem-estar futuro. Por exemplo, o aquecimento do planeta é atribuído principalmente ao acúmulo de dióxido de carbono (CO₂) e outros gases na atmosfera terrestre provocado pela queima de combustíveis fósseis, a principal fonte energética desde a revolução industrial.

Uma série de custos econômicos, financeiros e sociais tem sido atribuída às mudanças climáticas como, por exemplo, os efeitos adversos sobre a saúde humana, produção agrícola, sistemas comerciais e produtividade econômica, o que tende a comprometer o desenvolvimento das próximas gerações.

Em muitos dos debates sobre essas questões, as ações antrópicas são sempre acusadas como o principal responsável por mudanças climáticas globais e, por isso, essa relação entre atividade econômica e meio ambiente se tornou o foco de uma extensa agenda pesquisa na academia. Além do mais, é imperativo para garantir condições futuras para o desenvolvimento dos países, entender e discutir políticas públicas visando à conciliação entre eles e a amenização dos efeitos do aquecimento global.

E para reverter à trajetória de emissão de CO₂ e, conseqüentemente, a degradação ambiental, é preciso haver uma combinação entre crescimento econômico e políticas ambientais apropriadas, como um sistema de cotas e de tributação de emissão de tal maneira a estabilizar e, posteriormente, mitigar os efeitos do aquecimento global. Todavia, acredita-se que esta tomada de decisão deriva de uma escolha social, uma vez

que aumento do nível de renda é descrito tanto como a causa do aumento da poluição, quanto da preservação ambiental.

Com esteio nesta discussão, esta Tese se propõe a estudar a relação entre as emissões de CO_2 e a atividade econômica, considerando uma base de dados que compreende vários países e o período a partir da segunda metade do século XX. Utiliza-se como mote a literatura que trata a dinâmica entre essas variáveis sob diferentes perspectivas como a hipótese da Curva de Kuznets Ambiental (CKA), a análise da tendência da Intensidade de Emissão de CO_2 e, seguindo a teoria de crescimento econômico, o exame da existência de Convergência de Emissão de CO_2 *per capita*.

O primeiro capítulo, *A Heterogeneidade da Curva de Kuznets Ambiental Global*, averigua a relação entre crescimento econômico e poluição ambiental descrita por Grossman e Krueger (1991), conhecida CKA. Esta relação não consegue se estabelecer na literatura como uma regularidade empírica. Principalmente, por não generalizar os resultados, em função dos países apresentarem diferentes trajetórias nas emissões de poluentes *per capita*. Sendo assim, este capítulo estuda esta problemática no contexto global e contribui com a literatura por captar a heterogeneidade da CKA por meio de um aspecto dinâmico implícito na relação entre crescimento econômico e emissão de CO_2 *pc* para diferentes grupos de países.

O segundo capítulo, *Análise do Crescimento da Intensidade da Emissão de CO_2* procura satisfazer dois objetivos: i) analisar a taxa de crescimento da intensidade de emissão de CO_2 ; e ii) estimar a tendência e mudanças de tendência na intensidade de emissão de CO_2 . O primeiro objetivo consiste numa avaliação descritiva da evolução da intensidade de emissão para os países desenvolvidos e em desenvolvimento de 1950 a 2007. O segundo preenche uma lacuna na literatura, ao fornecer estimativa das taxas de crescimento da intensidade de emissão e por verificar se existem mudanças nas mesmas ao longo do período em supracitado. Essas mudanças podem ter ocorrido devido aos choques no preço do petróleo e as mudanças tecnológicas que contribuem tanto para aumento do *PIB* quanto para adoção de tecnologias menos intensivas em emissão de CO_2 .

O terceiro capítulo versa sobre a indagação do *Mercado de Carbono pós 2012: cotas de emissão apenas para países desenvolvidos?* Haja vista que a proposição de

políticas visando estabilização e, posteriormente, a redução das emissões de CO_2 deve ser feita por meio do sistema de cotas de emissão.

Para isto, utilizar-se-á de evidências empíricas sobre a convergência de emissão de CO_2pc e de renda *per capita*, bem como a testar a hipótese de formação de clubes de convergência de emissão e de renda, com o intuito de verificar se a formação dos clubes de convergência na emissão de CO_2pc equivale aos clubes de convergência de renda *per capita*.

Diante dessas evidências, então, é possível estabelecer algumas políticas de cota de emissão, uma vez que, a partir dos clubes de convergência é possível aferir quais são os países com maiores níveis de emissão CO_2pc na atmosfera atualmente. Ou seja, a partir da estimação dos clubes de convergência poder-se-á responder se quem mais emite poluentes no mundo são, realmente, os países mais ricos? Ou são os mais pobres? Ou os países em desenvolvimento?

Além disso, ainda é possível verificar se há clubes de convergência nos quais as emissões de países mais ricos convergem de forma diferenciada dos países em desenvolvimento, ou se há países em desenvolvimento convergindo para o mesmo nível de poluição dos observados nos países desenvolvidos.

De uma maneira geral, pode-se dizer que a partir destes três ensaios, esta Tese contribui com a literatura especializada ao analisar, primeiramente, se na Curva de Kuznets Ambiental *existem efeitos diferenciados para grupos de países em conformidade com a dinâmica e os estágios de desenvolvimento de cada economia*. Em seguida, utiliza-se de uma análise econométrica mais apropriada para estimar a *Tendência da Intensidade da Emissão de CO_2* . E, por fim, por analisar se existe convergência de emissão de CO_2pc visando discutir aspectos do *Mercado de Carbono pós 2012: cotas de emissão para os países desenvolvidos e em desenvolvimento*.

Todos esses resultados podem auxiliar na definição de políticas ambientais destinadas a mitigar o nível de emissão global, a partir de políticas heterogêneas e que tendem a fornecer resultados mais homogêneos para todas as sociedades.

A HETEROGENEIDADE DA CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL GLOBAL

1. INTRODUÇÃO

A partir de uma série de estudos (científicos) recentes ¹ sobre as possíveis mudanças climáticas e seus efeitos, a sociedade mundial vem enfrentando um *trade-off* entre crescimento econômico e preservação ambiental, uma vez que durante estes dois últimos séculos a humanidade praticamente ignorou a degradação do meio ambiente ocasionada pela atividade econômica.

Em função disso, estudar a relação entre esses elementos passou a ser considerada uma agenda de pesquisa prioritária na academia, visto que atualmente o desafio da sociedade consiste no avanço urbano, industrial e de serviços sem degradação do meio ambiente. Ou seja, é preciso conciliar crescimento econômico com desenvolvimento sustentável, visando à preservação e recuperação ambiental.

A relação entre crescimento econômico e degradação ambiental é cercado de riscos e incertezas em decorrência dos possíveis efeitos que as alterações climáticas, como o efeito estufa, em virtude das emissões de gases na atmosfera, pode ocasionar na sociedade.² Para Carvalho e Almeida (2010), os riscos estão associados principalmente ao acúmulo tanto de CO_2 quanto de outros gases na atmosfera, o que retém a radiação solar nas proximidades terrestre, provocando o aquecimento do planeta. Isto pode provocar o derretimento das geleiras na Terra e, por conseguinte, elevar o nível de mar ao ponto de inundar diversas cidades litorâneas, bem como causar transtornos à produção agrícola e aos sistemas comerciais.

Os custos das agressões ao meio ambiente, como argumenta Lucena (2005), se relacionam à perda de satisfação criada por amenidades ambientais, aos riscos à saúde humana e às reduções na produtividade econômica, ressaltando que estes podem trazer prejuízos econômicos e sociais e, ainda, comprometer o desenvolvimento das próximas gerações.

¹ *Intergovernmental Panel on Climate Change* (2000, 2001, 2003), doravante IPCC (2000, 2001, 2003), Stern (2006), Nakicenovic et al (2003), Schmalensee, Stiker e Judson (1998), Webster et al (2002) e Leggett, Pepper e Swart (1992) apresentam o cenário atual divulgado pela ciência que aflige o presente e ameaça o futuro.

² Sendo o dióxido de carbono CO_2 o mais importante, uma vez que ele é gerado a partir da queima de combustíveis fósseis e estes são a principal fonte energética desde a segunda revolução industrial no século XIX.

Na tentativa de estabelecer uma conexão teórica entre degradação ambiental e desenvolvimento econômico, Grossman e Krueger (1991), Shafik e Bandyopadhyay (1992) e Selden e Song (1994) levantaram a hipótese que ficou conhecida como a Curva de Kuznets Ambiental, doravante CKA, que estabelece a relação entre renda *per capita* e poluição no formato de “U”-invertido.³

A forma de “U”-invertido da CKA deriva dos estágios de desenvolvimento da economia em relação à degradação ambiental. No primeiro estágio, a economia encontra-se no período pré-industrial e a relação entre crescimento econômico e poluição é positiva. Neste estágio, a sociedade anseia pelo aumento dos níveis de renda e de consumo sem grandes preocupações com o meio ambiente. Na medida em que a economia cresce, atinge um novo estágio ao se tornar uma economia industrial com elevado nível de renda, e também com o maior nível de degradação ambiental. Todavia, a partir do segundo estágio, a sociedade já anseia por mudanças na regulação ambiental, exigindo sustentação da qualidade ambiental ao longo da trajetória de aumento da renda *per capita*. E, por fim, no terceiro estágio, com uma economia pós-industrial, voltada para a prestação de serviços, espera-se que o nível de emissão de poluentes seja cada vez menor e, ainda, combinado com aumento de renda.⁴

Para Beckerman (1992), existe uma evidência de que o crescimento econômico leve a degradação ambiental nos estágios iniciais do processo, enquanto que na fase final, o caminho natural para preservação do meio ambiente seria o país se tornar rico. Sendo assim, a mensagem principal da CKA consiste no efeito renda, uma vez que este pode ser considerado tanto a causa quanto à solução para o problema ambiental. Para Deacon e Norman (2004), a melhoria ambiental não pode vir sem o crescimento econômico, uma vez que a redução nos níveis de poluição é decorrência das demandas sociais por bem-estar de uma população mais rica.⁵

³ A CKA deriva da ideia de Kuznets (1955) de que a relação entre crescimento econômico e desigualdade de renda é representada por uma curva na forma de “U”-invertido.

⁴ De uma maneira geral, espera-se que, primeiramente, países (ou regiões) com baixo nível de renda tendam a possuir uma relação positiva entre a renda nacional e a poluição, sendo que, para níveis mais elevados de renda, a relação entre estas duas variáveis seja negativa.

⁵ Bimonte (2001) adverte que a crença na relação entre crescimento da renda e a qualidade ambiental pode levar a uma espécie de “armadilha ambiental”, uma vez que o crescimento acelerado pode levar a uma perda da qualidade ambiental. Com isto, poderia retardar o processo de crescimento, uma vez que, se uma economia pobre (ou em desenvolvimento) devastar seus recursos naturais, isto tende a gerar mais pobreza.

Shafik e Bandyopdhyay (1992) e Grossman e Krueger (1995) argumentam não haver razão para se acreditar que a qualidade ambiental é algo que ocorra naturalmente à medida que as nações se tornem mais ricas. No entanto, a partir da prosperidade econômica, a sociedade tende a se dedicar mais aos aspectos não econômicos como, por exemplo, uma demanda social de proteção ambiental com base em leis mais severas e efetivas, que por sua vez afetam a adoção de novas tecnologias. Para Selden e Song (1994), esta demanda decorre de maiores níveis de conscientização e educação ambiental.

A consequência desse processo de conscientização seria, por exemplo, mudanças na pauta de importação. Como sugere Fonseca e Ribeiro (2005), quando há incremento na renda, os países tendem a parar de produzir bens intensivos na emissão de poluição e passam a importá-los de países com leis ambientais menos restritivas.⁶ A ideia de transferência de planta produtiva, intensivas em poluição de economias desenvolvidas para os países menos desenvolvidos também é compartilhada por Suri e Chapman (1998), Cole (2004), Arrow et al (1995) e Stern et al (1996).⁷

Esses fatores podem ser utilizados como justificativa da forma de “U”-invertido da CKA. Mas vale reforçar a ideia de que a força principal que moldaria a relação entre poluição e crescimento reside num processo de escolha social, haja vista que o aumento da renda contribui para a mudança de atitudes das pessoas em relação ao meio ambiente. No entanto, para que este processo seja contínuo, é preciso que haja efeito técnico, uma vez que as plantas produtivas intensivas em poluição podem migrar de um país (região) para outro.

Diante disso, é bem possível que existam efeitos heterogêneos entre emissão de CO_2 *per capita* (CO_2pc) e renda *per capita*, em decorrência do estágio de desenvolvimento de cada economia. Neste caso, políticas públicas de âmbito global tendem a não gerar resultados similares para todas as nações. Assim, um mecanismo

⁶ Segundo Lucena (2005), os diferenciais de rigidez na regulação ambiental entre países industrializados e em desenvolvimento podem ser descritos como vantagens comparativas em produtos intensivos em poluição para os últimos, ou seja, haveria uma transferência das atividades intensivas em poluição para os países em desenvolvimento em função da sua escolha de favorecer o crescimento econômico em detrimento da preservação do meio ambiente.

⁷ A visão destes autores é representada pela Hipótese dos Paraísos de Poluição (*Pollution Haven Hypothesis*).

para tornar as políticas mais eficientes seria considerar políticas regionais e heterogêneas, para que apresentem resultados mais homogêneos para o mundo como um todo.

Com esteio nestes argumentos, esta pesquisa se propõe a estimar a CKA Global, utilizando como indicador de poluição as emissões de CO_2pc , condicionado ao nível de renda *per capita* de 151 países, considerando informações anuais para o período de 1980 a 2008. Sendo assim, esta investigação se desenha a partir de modelos com dados em painel, assim como Grossman e Krueger (1991), Shafik e Bandyopadhyay (1992), Selden e Song (1994), Stern (2002), Perman e Stern (2003), dentre outros.

Todavia, esta pesquisa difere dos estudos supracitados em função da amostra, do indicador e dos fatores que influenciam na emissão de CO_2pc e da modelagem econométrica. Em termos metodológicos, a escolha por painel não dinâmico com efeito *threshold* para aferir o formato da CKA, decorre da possibilidade de captar efeitos diferenciados para grupos de países em conformidade com a dinâmica e os estágios de desenvolvimento de cada economia. Assim sendo, estimar-se-á uma CKA segmentada, a fim de evitar a generalização dos resultados para todos os países como se observa na literatura.

O restante do trabalho é dividido em cinco seções. A próxima se reserva à apresentação dos aspectos teóricos e às evidências empíricas em torno da CKA. A terceira seção versa sobre o tratamento metodológico diferenciado empregado nesta pesquisa para testar a hipótese da CKA. A base de dados é o tema da quarta seção, que ainda conta com análise descritiva dos dados. A seguir, são feitas as análises e discussão dos resultados. E, por fim, são tecidas as considerações finais.

2. ASPECTOS TEÓRICOS E EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS SOBRE A CKA

A sustentação teórica da forma de “U”-invertido da CKA é descrita a partir de fases de transição da economia, mais precisamente, por estágios de desenvolvimento, que, para Carvalho e Almeida (2010), são regidos pelas forças de mercado e por mudanças na regulação governamental.

O primeiro estágio é caracterizado pela transição de uma economia agrícola para uma industrializada, a qual sofre com pressões ambientais em prol do crescimento econômico, em função da industrialização e da baixa regulamentação ambiental. Quando esta economia atingir certo ponto de desenvolvimento em função do crescimento da renda, a sociedade tende a se conscientizar mais sobre a importância da qualidade ambiental. E, por fim, a transição de uma economia industrial para uma economia pós-industrial (voltada para prestação de serviços) apresenta um movimento em prol da consolidação da qualidade ambiental, concomitante ao aumento do nível da renda.

Panayotou (1997) advoga que a forma de “U”-invertido da CKA decorre da existência entre a diferença temporal das mudanças sociais e econômicas, uma vez que estas ocorrem de maneira mais rápida do que aquelas e, ainda, porque os avanços econômicos acarretam as mudanças sociais. Bimonte (2001) enfatiza que durante o processo de crescimento econômico, a participação social exerce um papel fundamental para definir a trajetória a ser seguida em termos de preservação ambiental.

Para Bousquet e Favard (2000), o suporte teórico da CKA é apoiado tanto pelas escolhas tecnológicas quanto pelas preferências em relação à qualidade ambiental, sendo seu formato baseado nos efeitos de escala, composição e técnicos sobre o meio ambiente.⁸ Os efeitos de escala são decorrentes da pressão do meio ambiente em função do aumento na produção. Todavia, a pressão ambiental pode ser anulada pelos outros dois efeitos, caso o crescimento econômico derive de setores com baixos níveis de poluição (efeito composição) ou em decorrência dos avanços tecnológicos na produção com vistas a compensar o aumento na produção (efeito técnico).

⁸ Os efeitos de escala, composição e técnico foram levantados por Grossman e Krueger (1991).

Por outro lado, a presença de retornos crescentes de escala na função de produção é apontada por Andreoni e Levinson (1998) como uma condição suficiente para sustentar o argumento em favor da forma de “U”-invertido da CKA.

A decomposição da relação entre poluição e renda em fatores escala e qualidade ambiental, é apontada por Echevarria e Ho (2000) como a sustentação teórica da CKA. Para eles, o fator escala é apontado como o responsável pela relação positiva entre renda e degradação ambiental, haja vista que aumentos na produção tendem a elevar os níveis de poluição. Em contrapartida, a qualidade ambiental explica a relação entre aumento da renda e a diminuição da pressão ambiental, sendo que, neste caso a preservação ambiental pode ser interpretada como um bem normal.

Já para Bimonte (2001) e Fonseca e Ribeiro (2005), a forma da CKA é decorrência do efeito renda, pois a qualidade ambiental é interpretada como um bem de luxo. Ainda segundo os autores, no início do processo de industrialização, a sociedade anseia por emprego e renda e, por isso, não está disposta trocar consumo por investimento em proteção ambiental. No entanto, ao atingir um determinado nível de renda e consumo, a sociedade tende a se preocupar mais com as questões ambientais, de forma a melhorar a qualidade ambiental.

A redução da poluição é explicada por Panayotou (1997) a partir dos efeitos da renda por meio da relação entre oferta e demanda. Pelo lado da oferta, baixo nível de renda pode ser entendido como uma restrição orçamentária, o que tende a inviabilizar os investimentos em preservação ambiental, mesmo na presença da demanda. Isto se deve ao fato de que uma sociedade com baixo nível de renda tende a se preocupar mais com suas necessidades básicas (alimentação, moradia e vestuário) do que com proteção ambiental, enquanto que para níveis altos de renda, a demanda por qualidade ambiental faz parte da cesta de consumo.

Do ponto de vista empírico, a literatura emergiu a partir do trabalho seminal de Grossman e Krueger (1991) que evidenciaram ser a relação entre emissão de poluentes (material particulado em suspensão e dióxido sulfúrico, SO₂) e o PIB *per capita* para os Estados Unidos, representada por uma curva em formato de “U”-invertido.

Posteriormente ao trabalho de Grossman e Krueger (1991), é possível observar uma vasta literatura sobre a CKA, com destaque para os trabalhos de Shafik e Bandyopadhyay (1992), Selden e Song (1994), Stern et al (1996), Stern (1998, 2003, 2006), entre outros.

Shakif e Bandyopadhyay (1992) consideraram dez indicadores de poluição⁹ para 149 países, durante o período de 1960 a 1990, por meio de três modelos (log linear, quadrático e cúbico) e, somente para os dois indicadores de poluição do ar foram encontradas evidências para a forma de “U”-invertido da CKA. Não obstante, eles observaram uma relação positiva entre os indicadores de geração de lixo municipal *per capita* e emissão de CO₂*pc* e a renda.

Analisando duas amostras de países, uma com 54 considerando como indicadores as emissões de SO₂, NO_x e suspensão de partículas e outra com 68 países para desflorestamento, Panayotou (1993) advoga a favor da hipótese da CKA.¹⁰ Assim como Agras e Chapman (1999) e Dijkgraaf e Vollebergh (2001).

Já Almeida e Carvalho (2010) estimaram dois modelos *cross-section* com dependência espacial para uma amostra de 187 países para analisar a relação entre emissão de CO₂*pc* e a renda *per capita*. O primeiro modelo foi apoiado na forma funcional de Ahluwalia (1976) – polinômio do segundo grau da renda *per capita* – tendo como resultados que a poluição aumenta com o crescimento da renda até atingir um nível ao qual o crescimento desta reduz a emissão de CO₂*pc*. Ao estenderem o modelo para forma cúbica da renda *per capita*, eles observaram, assim como Grossman e Kruger (1995), Moomaw e Unruh (1997), Shafik (1994), dentre outros, que a CKA assume uma forma de N, ao invés de “U”-invertido.

Considerando uma amostra de 30 países (sendo 22 da OECD¹¹), Selden e Song (1994) também encontraram evidências a favor da forma de N da CKA para as emissões

⁹ Ausência de água limpa, de saneamento urbano, partículas suspensas, dióxido de enxofre, mudanças nas áreas florestais, taxa anual de desmatamento, oxigênio dissolvido em rios, coliformes fecais em rios, lixo municipal *per capita* e emissões de carbono *per capita*.

¹⁰ NO_x é um termo genérico para os óxidos de nitrogênio – NO e NO₂, óxido nítrico e dióxido de nitrogênio. Estes gases são produzidos a partir da reação de gases nitrogênio e oxigênio no ar durante a combustão, especialmente em altas temperaturas.

¹¹ OECD é o acrograma de Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômico.

de poluentes do ar (óxido de nitrogênio, NO_x , e monóxido de carbono, CO) e, concluem que, para níveis altos de renda, a poluição poderá ir a zero.

No entanto, assim como a ideia seminal de Kuznets, a CKA também não se verifica em alguns estudos como, por exemplo, De Bruyn et al (1998), que analisaram a relação entre as emissões de CO_2 , SO_2 e NO_x e renda para um painel de dados que inclui Holanda, Reino Unido, Alemanha e EUA. Maddison (2006), por sua vez, estimou quatro modelos de dados em painel com dependência espacial para 135 países, de 1990 a 1995, um para cada indicador (SO_2 , NO_x , VOC e CO) ¹² e também não encontrou nenhuma evidência que corrobore nem com a forma de “U”-invertido nem com a forma de N. Perman e Stern (2003), Romero-Ávila (2008) e Lee e Lee (2009) também não corroboram com a hipótese da CKA.

Com esteio nestes trabalhos, pode-se dizer que não existe evidência consensual sobre a CKA, uma vez que esta parece ser sensível aos diversos indicadores de poluição, a amostra, período, forma funcional e metodologia econométrica. Sendo assim, não é possível generalizar o resultado da CKA para os países (ou regiões). Em decorrência disso, esta pesquisa irá empregar uma metodologia capaz de captar efeitos diferenciados para os grupos de países com base na renda *per capita* a fim de evitar a generalização dos resultados, ou seja, os países serão agrupados de acordo com o seu desenvolvimento econômico para que seja possível estimar uma CKA para cada grupo de países. A próxima seção apresenta em detalhes a metodologia econométrica.

¹² Os compostos orgânicos voláteis (VOCs) são produtos químicos orgânicos que têm uma alta pressão de vapor em comum, em condições de temperatura ambiente. Vale ressaltar que os VOCs são muitos perigosos para a saúde humana e, ainda, podem causar danos ao meio ambiente.

3. METODOLOGIA ECONOMÉTRICA

A utilização de dados de corte para aferir o formato da CKA deve ser vista com ressalvas, já que este tipo de informação limita o poder de explicação dos modelos por ignorar as trajetórias de evolução tanto da emissão de CO_2pc quanto da renda *per capita*, o que pode levar a estimativas errôneas da CKA.

Diante disso, optou-se pela metodologia de dados em painel com efeitos fixos para captar o aspecto dinâmico implícito na relação entre crescimento econômico e poluição, uma vez que cada unidade de observação apresenta uma trajetória de desenvolvimento e de emissão de CO_2 particular às suas características econômicas e ambientais.

Considerando esses aspectos, primeiramente, estimar-se-á um modelo linear sem efeitos *threshold*, descrito por:

$$(1) \quad CO_2pc_{it} = \alpha_i + \beta_0 R_{it} + \gamma X_{it} + \varepsilon_{it}$$

Sendo α_i o efeito fixo, $\beta_0 = (\beta_{01}, \beta_{02}, \beta_{03})$ um vetor de parâmetros, $R_{it} = (Y_{it} \ Y_{it}^2 \ Y_{it}^3)$ um vetor com as variáveis renda, renda ao quadrado e renda *per capita* ao cubo, γ um vetor de parâmetros de tamanho $1 \times K$, X_{it} um vetor com variáveis de controle de dimensão $K \times 1$ e, finalmente, ε_{it} é um erro aleatório. Não obstante, o índice i representa o país e t cada ano da série temporal analisada.

A validade da hipótese de Kuznets é indicada pelos sinais dos parâmetros β_j , $\beta_{01} > 0$, $\beta_{02} < 0$ e $\beta_{03} = 0$. Observe que, nesse modelo, a hipótese de Kuznets, dada pelos coeficientes β_{01} e β_{02} , é deduzida levando-se em conta todos os países; ou seja, não é permitido variações desses coeficientes entre grupos de unidades de corte.

A restrição de homogeneidade na relação de Kuznets em um painel de países é o tema central do trabalho de Barro (2000), uma vez que a relação entre desigualdade e crescimento também pode se diferenciar entre grupos de economias. Sendo assim, para

acomodar a ideia de Barro (2000), empregam-se outros três modelos nesta análise entre poluição e crescimento econômico.¹³

Tratam-se de modelos de painéis não dinâmicos com efeito *threshold*, proposto por Hansen (1999), no qual os coeficientes β_{01} , β_{02} e β_{03} , determinantes da hipótese de Kuznets, podem variar entre regimes de acordo com uma variável de seleção, chamada de variável *threshold*. Nestes modelos, o coeficiente de inclinação no painel varia para diferentes grupos categorizados pelo nível de uma variável *threshold*.

A diferença entre os três modelos ocorre basicamente devido ao tratamento que cada modelo dá ao grupo de variáveis de controle, X_{it} . Assumindo a existência de apenas dois regimes, para facilitar a presente exposição, o primeiro modelo com efeito *threshold*, com variáveis de controle, pode ser descrito como:

$$(2) \quad CO_2pc_{it} = \alpha_i + \beta_1 R_{it} I_1 \{Y_{it} \leq \lambda\} + \beta_2 R_{it} I_2 \{Y_{it} > \lambda\} + \gamma X_{it} + \varepsilon_{it}$$

Neste caso $I_1 \{\cdot\}$ representa uma função indicadora, com $I_1 = 1$ quando $Y_{it} \leq \lambda$ e 0 caso contrário, enquanto $I_2 = 1$ se $Y_{it} > \lambda$ e 0 de outra forma, Y_{it} é a variável *threshold*, λ é o parâmetro *threshold*, e $\beta_j = (\beta_{j1}, \beta_{j2}, \beta_{j3})$, $j=1,2$ e 3 . O erro ε_{it} é tido como independente e identicamente distribuído (*i.i.d.*) com média zero e variância finita σ^2 .

A equação (2) permite a estimação de coeficientes distintos para cada grupo da amostra delimitado pelo valor da variável *threshold*. A inclusão de variáveis de controle é recomendada para dirimir a relação entre o viés de especificação e de variáveis omitidas. Neste sentido, o segundo modelo com efeito *threshold*, faz uso da Abertura, Energia, Densidade e Progresso Tecnológico. No entanto, a influência dessas variáveis são, por suposição, constantes entre os regimes.

Por último, o terceiro modelo com efeito *threshold* permite a influência das variáveis de controle sobre as emissões de CO_2pc , assim como as variáveis de renda *per capita*, também varie conforme os regimes definidos pela variável *threshold*:

¹³ Vale ressaltar que esta abordagem ainda não foi considerada em estudos pela Curva de Kuznets Ambiental.

(3)

$$CO_2pc_{it} = \alpha_i + \beta_1 R_{it} I_1 \{Y_{it} \leq \lambda\} + \gamma_1 X_{it} I_1 \{Y_{it} \leq \lambda\} + \beta_2 R_{it} I_2 \{Y_{it} > \lambda\} + \gamma_2 X_{it} I_2 \{Y_{it} > \lambda\} + \varepsilon_{it}$$

Para explicar o processo de estimação e testes nesse tipo de modelo, considere uma representação da equação de regressão (3):

$$(4) \quad CO_2pc_{it} = \alpha_i + \psi Z_{it}(\lambda) + \varepsilon_{it}$$

onde $\psi = (\beta'_1, \gamma'_1, \beta'_2, \gamma'_2)$ e $Z_{it}(\lambda) = (R'_{it} I_1, X'_{it} I_1, R'_{it} I_2, X'_{it} I_2)'$. Defina o espaço $\Lambda = [\underline{\lambda}, \bar{\lambda}]$, onde $\underline{\lambda} > \min\{Y_{it}\}$ e $\bar{\lambda} < \max\{Y_{it}\}$. Observe que, para cada valor de $\lambda \in \Lambda$, o vetor $Z_{it}(\lambda)$ assumirá uma forma particular.

A estimação dos modelos em painel não linear, efeito *threshold*, segue a metodologia proposta em Hansen (1999). Ela procede via sucessivas aplicações de mínimos quadrados ordinários (MQO), para cada valor de λ em Λ , e a seleção, via *search grid*, das estimativas dos parâmetros que gerem a menor soma do quadrado dos resíduos (SQR), ou seja, para cada $\lambda_n \in \Lambda$ obtêm-se por MQO as estimativas $\hat{\alpha}_i(\lambda_n)$ e $\hat{\psi}(\lambda_n)$ e o respectivo SQR, $S(\lambda_n) = \sum \sum \hat{\varepsilon}_{it}^2(\lambda_n)$, as estimativas finais de α_i , ψ e λ são aqueles valores que minimizam a função $S(\lambda_n)$ no espaço Γ .

O teste para existência de efeito *threshold*, onde $\beta_1 \neq \beta_2$ e/ou $\gamma_1 \neq \gamma_2$, utiliza a estatística de teste de multiplicador de *Lagrange*, proposta por Hansen (1999), que é robusta à heterocedasticidade e tem seus valores críticos determinados por um procedimento de *bootstrap* (Hansen, 1996). Caso o efeito *threshold* seja estatisticamente relevante na equação (3), conclui-se que existem dois regimes, onde as relações entre a emissão de CO_2pc e as variáveis explicativas são distintas (ao menos para algumas delas). Do contrário, o modelo mais adequado para os dados é dado pela equação (1).

No caso de três regimes, por exemplo, o modelo pode ser representado da seguinte forma:

$$(5) \quad CO_2pc_{it} = \alpha_i + \theta W_{it}(\lambda_1, \lambda_2) + \varepsilon_{it}$$

Onde $\theta = (\beta'_1, \gamma'_1, \beta'_2, \gamma'_2, \beta'_3, \gamma'_3)$, $Z_{ii}(\lambda_1, \lambda_2) = (R'_{ii}I_1, X'_{ii}I_1, R'_{ii}I_2, X'_{ii}I_2, R'_{ii}I_3, X'_{ii}I_3)'$, $I_1 = I_1\{Y_{ii} \leq \lambda_1\}$, $I_2 = I_2\{\lambda_1 < Y_{ii} \leq \lambda_2\}$ e $I_3 = I_3\{\lambda_2 < Y_{ii}\}$ são funções indicadoras e λ_1 e λ_2 são os parâmetros *threshold*.

No processo de estimação do modelo, bem similar ao caso com dois regimes, obtêm-se por MQO as estimativas $\hat{\alpha}_i(\lambda_{1,n}, \lambda_{2,n})$ e $\hat{\theta}(\lambda_{1,n}, \lambda_{2,n})$ para cada par $(\lambda_{1,n}, \lambda_{2,n}) \in \Lambda \times \Lambda$ e o respectivo SQR, $S(\lambda_{1,n}, \lambda_{2,n}) = \sum \sum \hat{\varepsilon}_{ii}^2(\lambda_{1,n}, \lambda_{2,n})$, enquanto as estimativas finais de α_i , θ , λ_1 e λ_2 são aqueles valores que minimizam a função $S(\lambda_{1,n}, \lambda_{2,n})$ no espaço $\Lambda \times \Lambda$. Testes para a validade dos três regimes podem ser executados, também, pelo teste de multiplicador de *Lagrange* comparando-se as estimativas da variância dos erros entre os modelos (4) e (5).

Caso o modelo com três regimes (isto é, com dois parâmetros *thresholds*) seja o mais adequado estatisticamente, esse mesmo procedimento de estimação e teste continua até que seja determinado o número de regimes do modelo. Nesse estudo, o máximo de regimes permitido é quatro, ou seja, corresponde à possibilidade de existirem três relações distintas entre emissão de *CO₂pc* e renda *per capita*.

Apresentada a metodologia econométrica, painel não dinâmico com efeito *threshold*, se faz apropriado descrever e explorar a base de dados, por meio de estatísticas descritivas, para levantar alguns *insights* sobre a relação entre a emissão de *CO₂pc* e os seus determinantes aqui analisados.

4. BASE DE DADOS

4.1 FONTE E DESCRIÇÃO DOS DADOS

Para averiguar o formato da CKA Global, considerando o período de 1980 a 2008, utiliza-se de informações anuais de 151 sobre a emissão de *CO₂ per capita*, PIB *per capita*, Abertura Econômica, Densidade Populacional, Progresso Tecnológico, Consumo de Energia Primária e Efeito Escala (PIB por km²). Essas variáveis foram selecionadas com base em estudos semelhantes sobre o tema em epígrafe.¹⁴

A escolha pela emissão de *CO₂pc* como indicador de degradação ambiental decorre do simples fato do CO₂ ser o principal poluente causador de gases do efeito estufa, que, é a causa do aquecimento global.¹⁵ Almeida e Carvalho (2010) ainda destacam que esta variável é tida como fluxo e está diretamente relacionada com o nível corrente da atividade econômica.

Além do mais, a regulamentação da emissão de *CO₂pc* é um bom instrumento de política ambiental global, por meio do mercado internacional de crédito de carbono, o qual foi apresentado explicitamente na Convenção das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas no Rio de Janeiro em 1992 (Beckerman e Pasek, 1995).

A emissão de *CO₂pc* é disponibilizada pela *U.S. Energy Information Administration*, EIA, e refere-se à emissão *per capita* de dióxido de carbono a partir do consumo de energia, mensurada em toneladas métricas de dióxido de carbono por pessoa.¹⁶

Galcotti, Lanza e Pauli (2006) argumentam que os dados da EIA parecem ser mais precisos do que o disponibilizado pelo *Carbon Dioxide Information Analysis Center* (CDIAC), principalmente por usar coeficientes de emissão específicos para

¹⁴ Grossman e Krueger (1991), Shafik e Bandyopadhyay (1992), Panayotou (1993), Poon et al. (2006), Agras e Chapman (1999), Arraes et al. (2006), Holtz-Eakin e Selden (1995), Shafik (1994), Maddison (2006), Moomaw e Unruh (1997), De Bruyn et al. (1998), Lucena (2005).

¹⁵ A opção por trabalhar com o indicador *per capita*, deriva da necessidade de comparar os níveis de emissões dos países.

¹⁶ O conjunto de dados da EIA é baseado em balanços de energia e não inclui produção de cimento e queima de gás. Todavia, os impactos dessas emissões são pequenos e, de acordo com Galcotti, Lanza e Pauli (2006) estes contribuíram com menos de 5% para emissões totais em 1997. No entanto, é bom destacar que este indicador também não contempla as emissões decorrentes do uso da terra como desmatamento, pecuária e agricultura. Diante disso, pode-se dizer que para alguns países como o Brasil, por exemplo, o nível de emissão utilizado nesta pesquisa é subestimado, uma vez que, grande parte das emissões do Brasil é decorrente do uso da terra.

diferentes produtos energéticos. Para o CDIAC, por sua vez, o único coeficiente utilizado é para o gás, petróleo e combustíveis sólidos fósseis, sem qualquer distinção entre os produtos de energia individual. No entanto, os autores argumentam que quantitativamente falando, as diferenças não são significativas.

A variável explicativa mais comum na literatura sobre a CKA é uma medida do nível de renda. Sendo assim, utiliza-se do PIB real *per capita* a valores de 2005¹⁷, *PIBpc*, fornecido pela *Penn World Table*, PWT 7.0, elaborada por Alan Heston, Robert Summers e Bettina Aten do Centro de Comparações Internacionais de Produção, Renda e Preços da Universidade da Pensilvânia nos Estados Unidos.

Para mensurar o *turning point*, é acrescido ao modelo o *PIBpc* ao quadrado, visando captar a curvatura e o nível máximo de emissão em relação ao nível de renda. Vale ressaltar que a inclusão deste termo é necessária para averiguar se a CKA apresenta forma de sino, ou seja, em qual estágio a economia se encontra. Lembrando que, de acordo com a formulação da CKA, existem três estágios. O primeiro é representado por uma relação positiva entre poluição e renda (o nível de poluição aumenta com o aumento da renda). O segundo é gerado a partir de uma desaceleração nos níveis de emissão de poluentes em relação à renda, enquanto o terceiro é descrito por uma diminuição dos níveis de poluição concomitante ao aumento da renda.

Liu (2005) argumenta que dois países com níveis semelhantes de tecnologia e dotação de fatores podem ter diferenças significativas na estrutura industrial em função de decisões de investimento no passado. Com isto, seus níveis de capital agregado podem ser semelhantes, mas as diferenças na composição do capital podem levar a diferença nos custos de oportunidade de reduzir as emissões. Diante disso, é preciso levar em consideração as características dos países na estimação do modelo, uma vez que existem outros fatores além da renda que explicam os níveis de emissão de *CO₂pc*.

A *abertura comercial* é aferida a partir da razão de comércio (a soma de importações com exportações sobre o PIB do país) e tem como fonte a PWT 7.0. De acordo com Grossman e Krueger (1991), Agras e Chapman (1999) e Kaufmann et al. (1998), o volume de comércio é prejudicial ao meio ambiente, uma vez que a economia tende a produzir mais para atender a demanda interna e externa. Neste sentido, espera-se

¹⁷ Os valores de 2005 são expressos com base na Paridade do Poder de Compra (PPC).

que quanto maior o grau de abertura econômica de um país, maior a emissão de CO_2pc . Todavia, Antweiler, Copeland e Taylor (2001) argumentam que a relação entre comércio e meio ambiente pode passar por vários canais e, conseqüentemente, é difícil dar uma previsão clara do sinal estimado do coeficiente do comércio sobre a emissão de CO_2pc .

O consumo de energia primária *per capita*, *energia*,¹⁸ é aferido a partir da razão entre o consumo total de energia primária e a população. A escolha por incluir esta variável decorre da necessidade de se utilizar uma *proxy* para captar o efeito da eficiência energética. Como *energia* e emissão de CO_2 são altamente correlacionadas, é possível reduzir uma sem reduzir a outra como, por exemplo, mudanças tecnológicas na geração de energia a partir do carvão por gás. Mais do que isto, para um dado nível de consumo de energia *per capita*, renda alta pode ser associada com tecnologia “limpa” (isto é, de baixa emissão de poluentes).

Assim como Grossman e Krueger (1991), Shafik e Bandyopadhyay (1992) Stern (2000), Maddison (2006), Perman e Stern (2003), optou-se por considerar uma variável de tendência temporal para aferir o impacto das mudanças tecnológicas ao longo destas três últimas décadas experimentadas pelos países.¹⁹

Lantz e Feng (2006) e He e Richard (2010) incluem, além da tendência linear, uma tendência quadrática como *proxy* do progresso tecnológico. A inclusão do termo quadrático deriva de possíveis efeitos não lineares da tecnologia. Em relação ao sinal esperado do progresso tecnológico, *Tendência* e *Tendência*² é negativo e positivo, respectivamente; ou seja, primeiramente o efeito é decrescente e, em seguida, aumenta com o nível de emissão *per capita* (He e Richard, 2010).

Para cotejar a influência da densidade populacional, optou-se por incluir a razão entre População e km^2 , assim como fizeram Shukla e Parikh (1992), Kaufmann et al. (1997), Panayotou (1997) e outros.²⁰ A primeira é disponibilizada pela PWT 7.0,

¹⁸ Cole, Rayner e Bates (1997) também se utilizam desta variável para examinar a relação entre a renda *per capita* e os indicadores ambientais a partir de um painel de dados.

¹⁹ A opção por utilizar esta *proxy* deriva da indisponibilidade de outras variáveis para aferir os do progresso tecnológico, principalmente, em decorrência do período temporal e da quantidade de países que compõe a base de dados deste ensaio. No entanto, esta tem sido a variável utilizada pela literatura.

²⁰ Esta variável pode não ser uma boa *proxy* no caso de países continentais como o Brasil e China, por exemplo. Todavia, é a que

enquanto a segunda tem como fonte a Divisão de Estatística das Nações Unidas (UNDS), sendo consideradas as informações de 2007 para a dimensão territorial dos países.

Assim como Panayotou (1997), este estudo também considera o PIB por km^2 , PIB/km^2 , em função da necessidade de avaliar o impacto do efeito de escala da produção nacional sobre a emissão *per capita*, ou seja, esta variável tem por finalidade captar o efeito da intensidade espacial da atividade econômica do país.²¹ Ang (1999) enfatiza a importância de incluir uma variável para representar o nível de atividade econômica na relação com pressão ambiental. Para Fonseca e Ribeiro (2005), o aumento do nível de atividade econômica por unidade de área leva a maiores índices de degradação ambiental, pois os recursos naturais são mais utilizados e a geração de poluentes tende a ser maior.

Uma síntese das variáveis, bem como suas descrições, fonte e sinal esperado são reportados no Quadro 1.1.

| Variável | Descrição | Fonte | Sinal esperado |
|---|---|---|----------------|
| CO_2pc | Emissão <i>per capita</i> de dióxido de carbono a partir do consumo de energia, mensurado em toneladas de dióxido de carbono. | EIA | * |
| Y | PIB real <i>per capita</i> a valores de 2005 | PWT 7.0 | + |
| Y^2 | O quadrado da variável $PIBpc$ | PWT 7.0 | - |
| Y^3 | O cubo da variável $PIBpc$ | PWT 7.0 | ** |
| Y/km^2 | PIB real a valores de 2005 por km^2 | PWT 7.0 e UNSD | + |
| <i>Abertura</i> | Grau de abertura, razão entre (importação + exportação) sobre o PIB. | PWT 7.0 | + |
| <i>Energia</i> | Razão do consumo de energia primária, medido em toneladas equivalentes de petróleo, pela população. | EIA e PWT 7.0 | + |
| <i>Progresso Tecnológico</i> | Tendência de tempo. | Lantz e Feng (2006) e He e Richard (2010) | - |
| <i>Progresso Tecnológico</i> ² | Tendência ao quadrado | Lantz e Feng (2006) e He e Richard (2010) | + |
| <i>Densidade</i> | Quantidade de pessoas por km^2 | PWT 7.0 e UNSD | + |

QUADRO 1.1: DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Notas: i) * refere-se à variável dependente;

ii) ** espera-se que esta variável não tenha efeito significativo sobre a emissão de CO_2pc para que seja possível confirmar a hipótese da curva de Kuznets.

²¹ Talvez fosse melhor utilizar um indicador de urbanização, entretanto, em função da indisponibilidade desta, optou-se por considerar o PIB/km^2 para captar o efeito escala.

4.2 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS

Apresentada a base de dados, dar-se-á início à exploração da mesma, por meio das estatísticas descritivas e da matriz de correlação, Tabela 1.1. Com base nos valores observados para a emissão de CO_2pc para os 151 países aos 29 anos que compõe a amostra, 1980 a 2008, verifica-se que a emissão média é de 3,96 toneladas métricas de dióxido de carbono por habitante. A menor emissão foi observada em 1982 no Camboja 0,0056; enquanto a maior ocorreu no Bahrain, em 2008, 42,46 toneladas métrica por habitante.

Em relação à renda *per capita*, Y , verifica-se que, em média, a população mundial vive com U\$ 9.395 (a valores de 2005 com base na paridade do poder de compra) ao ano. A República Democrática do Congo foi quem apresentou menor nível de renda *per capita*, U\$ 117,22, no ano 2000. Já a nação mais rica, Brunei, em 1980, teve renda *per capita* de U\$ 99.300.

O grau de *abertura comercial* médio ao longo do período em tela foi de 78,48%. A Somália, em 1991, pode ser considerada o país mais fechado para o comércio mundial, enquanto em 2008, Singapura ocupou o posto de nação com o maior nível de comércio mundial.

Em relação à *densidade*, população por km^2 , observa-se que em média os países têm 282 habitantes por km^2 . Os extremos, compostos pelos países com menor e maior densidade populacional, são a Mongólia em 1980 e o Macau em 2008, respectivamente.

No tocante ao consumo de energia primária, *Energia*, observa-se que, a média, é 934 toneladas equivalentes de petróleo *per capita*. Em 1999, os Estados Unidos da América foi o país com o menor nível de consumo *per capita*, enquanto que em 2008 a Seychelles foi quem mais consumiu energia primária em termos *per capita*.

O efeito de escala médio é de U\$ 5.831 por km^2 , sendo que, em 1981, a Mongólia obteve o menor valor de PIB por km^2 e, em 2008, o Macau teve a maior produção nacional por km^2 .

No tocante à correlação entre as emissões de CO_2pc e os seus determinantes, note que todas as variáveis de controle (Renda, Abertura, Densidade, Energia e Y/km^2)

são positivamente correlacionadas com a emissão de CO_2pc . Diante disso, pode-se dizer que se espera uma relação positiva entre os determinantes da poluição e a emissão de CO_2pc . Além disso, a correlação converge para os sinais esperados. Em termos de magnitude, observa-se que a renda *per capita* possui a maior correlação com o nível de emissão *per capita*, seguida pelo grau de abertura da economia, Y/km^2 , Densidade e Energia.

Observe ainda que a correlação entre CO_2pc e Y , Y^2 e Y^3 é positiva e decrescente, isto é, a medida que aumenta o nível de renda *per capita*, diminui a emissão de CO_2 . Sendo assim, pode-se dizer que, quanto mais desenvolvida for a economia, menor será seu nível de emissão de poluentes.

TABELA 1.1: ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

| Variáveis | Média | Desvio padrão | Mínimo | Quartil 1 | Quartil 2 | Quartil 3 | Máximo |
|-----------|----------|---------------|--------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| CO_2pc | 3,96 | 5,52 | 0,01 | 0,37 | 1,53 | 6,06 | 42,46 |
| Y | 9.395,26 | 11.492,04 | 117,22 | 1.385,24 | 4.655,53 | 12.470,24 | 99.300,01 |
| Abertura | 78,48 | 51,33 | 1,03 | 43,65 | 66,46 | 101,90 | 443,08 |
| Densidade | 281,55 | 1.243,66 | 1,06 | 19,09 | 59,96 | 158,26 | 18.827,59 |
| Energia | 934,14 | 4.330,44 | 0,00 | 8,10 | 73,68 | 330,21 | 68.825,60 |
| Y/km^2 | 5.831,29 | 37.882,77 | 2,03 | 50,42 | 213,19 | 1.151,78 | 1.000.208,42 |

| Matriz de Correlação entre a emissão de CO_2pc e seus determinantes | | | | | | |
|---|-------|-------|----------|-----------|---------|----------|
| Y | Y^2 | Y^3 | Abertura | Densidade | Energia | Y/km^2 |
| 0,80 | 0,66 | 0,47 | 0,31 | 0,14 | 0,05 | 0,17 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

No intuito de explorar a relação entre os grupos de países, optou-se por tomar a média e a correlação de emissão de CO_2pc e de seus determinantes para cada quartil de renda *per capita* contido na Tabela 1.1. Este exercício tende a contribuir para exploração das informações por grupos de países, uma vez que a metodologia econométrica permitirá, a partir da renda *per capita* dos países, estimar até quatro CKA, uma para cada grupo de países.

Observe, na Tabela 1.2, que a emissão média de CO_2pc aumenta de acordo como o nível de renda *per capita* dos países. Mais do que isso, a correlação também aumenta quando a renda aumenta. Por exemplo, para o 1º quartil (países com renda *per capita* entre U\$ 117,22 e U\$ 1.385,24), existe uma correlação de 0,24 entre emissão e renda, enquanto que, no 2º quartil (U\$ 1.385,25 e U\$ 4.655,53), a correlação é de 0,41. No entanto, no 3º quartil, a correlação é inferior a do 2º e 4º quartis.

Em relação aos determinantes da emissão de CO_2pc , verifica-se que, no caso da *abertura comercial*, as maiores correlações entre a intensidade do comércio exterior e o nível de renda *per capita* são experimentadas pelo 4º, 1º, 2º e 3º quartis, respectivamente, sendo que os países com maiores níveis de renda também possuem um comércio mais intenso.

A correlação entre renda e densidade populacional é maior para os países com nível de renda *per capita* entre U\$ 4.655,53 e U\$ 12.470,24 (3º quartil). Note que, para o 2º quartil de renda, a relação é negativa, enquanto que para o 4º quartil, a correlação é próxima de zero.

Note que a correlação entre o nível de renda *per capita* e o consumo de *energia primária* é negativa para quase todos os quartis, exceto o terceiro. Enquanto que a correlação entre o efeito escala, Y/km^2 , é positiva, porém os países com renda *per capita* entre U\$ 4.655,54 a U\$ 12.470,24 possuem a maior correlação, seguidos pelos países com renda *per capita* a partir U\$ 117,22 a U\$ 1.385,24. A menor correlação é observada para os países que compõe o 4º quartil (U\$ 12.470,24 a U\$ 99.300,01).

TABELA 1.2: MÉDIA E CORRELAÇÃO POR QUARTIL DE RENDA PARA EMISSÃO DE CO_2PC E SEUS DETERMINANTES.

| | Quartil | CO_2pc | Abertura | Densidade | Energia | Y/km^2 |
|-------------------|---------|----------|----------|-----------|----------|-----------|
| Média | 1º | 0,23 | 57,22 | 89,54 | 503,33 | 79,10 |
| | 2º | 1,13 | 85,03 | 99,82 | 808,98 | 269,00 |
| | 3º | 3,51 | 76,93 | 113,23 | 1.163,23 | 914,36 |
| | 4º | 10,95 | 95,87 | 827,53 | 1.290,08 | 22.072,41 |
| Correlação | 1º | 0,24 | 0,15 | 0,14 | -0,02 | 0,27 |
| | 2º | 0,41 | 0,13 | -0,03 | -0,15 | 0,19 |
| | 3º | 0,37 | 0,09 | 0,16 | 0,06 | 0,33 |
| | 4º | 0,42 | 0,18 | 0,01 | -0,08 | 0,11 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS²²

Esta seção se reserva a análise e discussão dos resultados estimados para aferir o formato da CKA Global. A variabilidade da relação entre emissão de CO_2pc e o nível de renda *per capita* é apresentada com base em dois modelos não lineares de painel com efeitos-fixos. Os modelos se diferem pelo tratamento dado às variáveis de controle (Abertura, Progresso Tecnológico, Densidade, Energia, Y/km^2) na equação de regressão. No Modelo 1, seus respectivos coeficientes não mudam com o efeito *threshold*. Nesse caso, apenas os coeficientes da renda, renda ao quadrado e renda ao cubo variam entre regimes determinados pela variável *threshold*. O segundo modelo permite que, tanto os coeficientes das variáveis de controle, como Y , Y^2 e Y^3 , variem entre os regimes.²³

A Tabela 1.3 reporta os resultados do primeiro modelo, estimado a partir de duas especificações, Linear e *Threshold Triplo*. A estimação (e apresentação) do modelo Linear decorre da possibilidade de comparação dos seus resultados com os encontrados na literatura, enquanto o modelo *Threshold Triplo* é reportado em função da estatística de teste LR sugeri-lo como o modelo estatisticamente relevante, uma vez que rejeitaram as hipóteses de um, dois e três efeitos *threshold* contra quatro regimes. Sendo assim, o *Threshold Triplo*, é o adequado para a análise empírica.

Ao analisar o modelo *Threshold Triplo*, verifica-se que as economias são separadas em quatro grupos com base nos seus níveis de renda *per capita*, sendo o primeiro regime formado pelos países que possuem renda até U\$ 820,57, enquanto o segundo regime é representado pelas economias com renda superior ao do primeiro e inferior a U\$ 1.326,10. Já o terceiro, é composto pelas economias com renda *per capita* entre U\$1.326,10 e U\$ 14.472,42, e, por fim, as economias com renda superior a U\$ 14.472,42 se fazem presentes no quarto regime. Nestes termos, pode-se dizer que a CKA é verificada para quatro grupos de países com base em suas rendas *per capita* a valores de 2005.²⁴

²² A estimativa dos resultados é feita baseada em código do *software* Gauss disponibilizada por Hansen (1999).

²³ As Tabelas 1.5 e 1.6, em apêndice, reportam as estimativas dos Modelos Linear, *Threshold Único* e *Threshold Duplo*, para os dois casos – variáveis de controle fixa e mudando de acordo com o regime.

²⁴ Com base nos parâmetros *threshold* estimados para os níveis de renda *per capita*, pode-se dizer que 13,3% da amostra pertencem ao primeiro regime, enquanto que para os níveis de renda entre U\$ 820,57 e

Em relação ao formato da CKA, pode-se dizer que, tanto no primeiro quanto no segundo e terceiro regimes, observa-se que a CKA se apresenta na forma de S, haja vista a combinação dos coeficientes de Y , Y^2 e Y^3 (negativo / positivo / negativo). No entanto, vale salientar que a forma de S é uma aproximação da forma de “U”-invertido ao se observar a relação entre Y^2 e Y^3 com a emissão de CO_2pc .

TABELA 1.3: MODELOS THRESHOLD COM VARIÁVEIS DE CONTROLE FIXAS

| Variável | Linear | Threshold Triplo | | | |
|-------------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|
| | | 1° Regime | 2° Regime | 3° Regime | 4° Regime |
| Y | -12,7592* (-17,2953) | -4,1649* (-2,1601) | -24,0232* (-13,5921) | -10,9563* (-10,9275) | 10,1309* (4,8061) |
| Y^2 | 1,7229* (19,1931) | 0,6665* (2,8194) | 3,0108* (13,2784) | 1,4949* (12,3538) | -0,8730* (-3,4723) |
| Y^3 | -0,07039* (-19,5399) | -0,0271* (-2,8352) | -0,1191* (-12,5008) | -0,0610* (-12,6588) | 0,0265* (2,6876) |
| <i>Tendência</i> | 0,0153* (4,2078) | | | 0,0181* (5,2067) | |
| <i>Tendência</i> ² | -0,0006* (-5,0862) | | | -0,0006* (-5,809) | |
| <i>Abertura</i> | 0,2022* (12,3476) | | | 0,1521* (9,3681) | |
| <i>Densidade</i> | -0,0131 (-1,5931) | | | -0,0106 (-1,3165) | |
| <i>Energia</i> | 0,0479* (7,6909) | | | 0,0657* (10,7139) | |
| Y/km^2 | 0,00000032 (-1,1640) | | | 0,00000002 (0,0875) | |
| <i>Thresholds</i> | - | | US\$ 820,57 | US\$ 1.326,10 | US\$ 14.472,42 |
| Σe^2 | 780,40 | | | 709,86 | |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Notas:

- i) As estimações foram corrigidas para Heteroscedasticidade.
- ii) Os valores entre parênteses reportam a estatística t.
- iii) * Significante ao nível de 1%, ** Significante ao nível de 5%, *** Significante ao nível de 10%.

Por outro lado, para as economias com renda *per capita* superior a US\$ 14.472,42 a CKA possui forma de N, assim como encontrado por Grossman e Krueger (1995), Moomaw e Unruh (1997), Carvalho e Almeida (2010) e outros. Diante disso, pode-se inferir que as economias com renda até US\$ 14.472,42 estão em fase de diminuição dos níveis de emissão de CO_2pc , enquanto que, para as economias com renda superior a esta, a emissão de CO_2pc continua aumentando.

US\$ 1.326,10 – 2° regime – tem-se 11%. O terceiro regime contempla a maior parte dos países, 52%. E, por fim, 25% da amostra é considerada como países desenvolvidos – renda *per capita* superior a US\$ 14.472,42 ao ano em valores de 2005.

Em relação aos sinais dos coeficientes das variáveis de controle (determinantes da emissão de CO_2), verifica-se que estão de acordo com a literatura. Em termos de magnitude, observa que a *abertura comercial* apresenta o maior impacto sobre as emissões *per capita*, sendo que, para cada aumento de 10% no grau de abertura (razão entre as somas de exportação e importação sobre o PIB), a emissão de CO_2pc aumenta em 1,5%.

O consumo de energia, também exerce impacto positivo sobre a emissão de CO_2pc , sendo que um aumento de 10% no consumo de energia primária, *ceteris paribus*, faz com que a emissão *per capita* aumente em 0,7%.

A partir de agora, a análise se concentra no Modelo 2, o qual permite que tanto as variáveis de renda quanto as de controle variem de acordo com o regime. Os resultados estão dispostos na Tabela 1.4. O teste de hipótese de linearidade favoreceu a especificação com três valores *threshold* distintos – o modelo tem quatro regimes. Sendo assim, são estimadas quatro CKA, uma para cada regime.²⁵

Os países que compõe o primeiro regime possuem renda *per capita* até U\$ 1.164,45. Estes podem ser considerados o grupo de países pobres. A seguir, encontram-se os países com renda superior ao do primeiro regime e inferior a U\$1.978,31, seguidos pelos países com renda até U\$ 14.472,42. Estes dois grupos de países podem ser considerados os países em desenvolvimento. E, por fim, os países desenvolvidos possuem renda *per capita* superior a U\$ 14.472,42.²⁶

Os coeficientes da renda do primeiro ao terceiro regime se mostraram significantes e não atendem à condição de concavidade do “U”-invertido, uma vez que a combinação dos parâmetros fornecem inicialmente uma relação negativa entre renda *per capita* e emissão de CO_2pc , seguida por uma relação positiva e, por fim, a relação é negativa. No entanto, pode-se dizer que, para estes regimes, na medida em que a renda

²⁵ A título de ilustração, realizou um teste de mínimos quadrados restritos para comparar os modelos 1 e 2 e, com base na estatística F, pode-se dizer que o Modelo 2 – Modelo *Threshold* com variáveis de controle variando de acordo com o regime – é mais bem especificado que o Modelo 1 ao nível de 1% de significância. Lembrando que este teste é aplicado em modelos aninhados e, como os valores *threshold* são diferentes, não se sabe até que ponto o teste é válido.

²⁶ Com base nestes valores de renda *per capita*, a amostra se distribui entre os regimes da seguinte maneira: o 1º regime concentra 21% das informações, o segundo contempla 10%, o terceiro 45%, e, por fim, o 4º regime tem 24%. Percebe-se novamente que o terceiro regime – países com renda *per capita* entre U\$1.978,31 e U\$ 14.472,42, a valores de 2005 – é o de maior concentração.

amente, existe uma tendência de que a pressão ambiental diminua, haja vista que, se considerar somente os coeficientes β_{i2} e β_{i3} , i indica o regime, percebe-se uma curva em forma de “U”-invertido. Assim sendo, a relação se verifica no caso dos países aumentarem seus níveis de renda *per capita*.

Por outro lado, no quarto regime, países com renda *per capita* superior a US\$ 14.472,42 ao ano, observa-se que a forma de “U”-invertido se verifica, ao nível de 10% de significância, uma vez que $\beta_{01} > 0$ e $\beta_{02} < 0$. Diante disso, pode-se inferir que os países desenvolvidos se encontram na terceira fase de transição, economia pós-industrial (isto é, intensiva no setor de serviços).

TABELA 1.4: MODELOS THRESHOLD COM VARIÁVEIS DE CONTROLE VARIANDO DE ACORDO COM O REGIME

| Variável | Linear | Threshold Triplo | | | |
|-------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
| | | 1° Regime | 2° Regime | 3° Regime | 4° Regime |
| Y | -12.7592* (-17.2953) | -14.2371* (-5.8593) | -18.5100* (-7.4899) | -8.4429* (-7.0149) | 7.4748* (2.5222) |
| Y^2 | 1.7229* (19.1931) | 1.8103* (6.0693) | 2.4607* (7.3676) | 1.1939* (8.3516) | -0.5627*** (-1.6122) |
| Y^3 | -0.07039* (-19.5399) | -0.0704* (-5.7941) | -0.1014* (-7.0418) | -0.0491* (-8.8456) | 0.0142 (1.0480) |
| <i>Tendência</i> | 0.0153* (4.2078) | 0.0390* (4.0196) | 0.0585* (4.5494) | 0.0108** (1.9868) | 0.0119 (1.4791) |
| <i>Tendência</i> ² | -0.0006* (-5.0862) | -0.0009* (-3.2281) | -0.0021* (-5.6417) | -0.0005* (-2.8698) | -0.0005** (-1.9176) |
| <i>Abertura</i> | 0.2022* (12.3476) | -0.0039 (-0.0813) | 0.0598*** (1.7517) | 0.2129* (7.2689) | 0.2536* (6.6019) |
| <i>Densidade</i> | -0.0131*** (-1.5931) | 0.0602** (1.8588) | -0.0871*** (-1.7474) | -0.0966* (-6.4018) | -0.0235 (-1.2006) |
| <i>Energia</i> | 0.0479* (7.6909) | 0.1373* (7.6016) | -0.0258 (-0.8278) | 0.0874* (3.7889) | 0.0412* (2.1972) |
| Y/km^2 | -0.0000003 (-1.1640) | -0.000001*** (1.6971) | 0.000001* (4.8923) | 0.000006* (3.7539) | 0.00003* (9.1288) |
| <i>Thresholds</i> | - | | US\$ 1.164,45 | US\$ 1.978,31 | US\$ 14.472,42 |
| Σe^2 | - | | | 709,86 | |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Notas:

- i) As estimações foram corrigidas para Heteroscedasticidade.
- ii) Os valores entre parênteses reportam a estatística t.
- iii) * Significante ao nível de 1%, ** Significante ao nível de 5%, *** Significante ao nível de 10%.

Em relação às variáveis de controle, observa-se que a *abertura comercial* não exerce impacto sobre a emissão de CO_2pc para os países com renda *per capita* até US\$ 1.164,45, isto é, no caso do primeiro regime, não se pode inferir que a intensidade do comércio é benéfica ou maléfica em termos de poluição ambiental. No entanto, para os países do segundo ao quarto regime, verifica-se que a *abertura comercial* exerce

impacto positivo sobre a emissão de CO_2pc . Este resultado corrobora a visão de Grossman e Krueger (1991), Agras e Chapman (1999), Kaufmann et al. (1998) de que o volume de comércio é prejudicial ao meio ambiente.

No caso do progresso tecnológico, os resultados corroboram com Lantz e Feng (2006) e He e Richard (2010), uma vez que, à medida que o progresso tecnológico aumenta, diminui a emissão de CO_2pc – este efeito é captado pelo termo quadrático. Embora o impacto seja pequeno, em termos de magnitude, talvez este efeito seja maior de forma indireta como, por exemplo, o impacto (positivo) do progresso tecnológico sobre a renda, pode fazer com que os países migrem para o regime de renda mais alta e, como a CKA vale para países com renda *per capita* alta, as emissões tendem a declinar com altos níveis de renda. Portanto, recomenda-se o investimento em tecnologia para dirimir a pressão ambiental, haja vista que o efeito técnico é capaz de reduzir a emissão de poluentes, como bem observou Grossman e Krueger (1991).

A *densidade* populacional parece divergir em relação aos regimes, sendo que, no primeiro regime, o efeito é positivo sobre a emissão de CO_2pc , enquanto que no segundo e terceiro regimes, a influência da densidade populacional é negativa sobre a emissão *per capita*. Ou seja, o efeito do crescimento populacional por km^2 nos países com renda *per capita* até US\$ 1.164,45 sobre as emissões é crescente, enquanto que nos países com renda entre US\$ 1.978,31 e US\$ 14.472,42, o efeito é negativo.

A partir dos coeficientes estimados para o consumo de energia primária *per capita*, pode-se dizer que o aumento no consumo de *energia* exerce impacto positivo sobre a emissão de CO_2pc , exceto no caso do segundo regime, em que o efeito é estatisticamente nulo. Em termos de magnitude dos coeficientes, verifica-se que o efeito é decrescente em relação ao regime, isto é, no primeiro regime, um aumento de 10% no consumo de *energia*, *ceteris paribus*, faz com que a emissão aumente 1,4%, enquanto que, no terceiro e quarto regimes, os impactos sobre a emissão são 0,9% e 0,4%, respectivamente. Diante disso, pode-se inferir que renda alta está associada à tecnologia limpa (baixa emissão de poluentes).

No tocante ao efeito escala, mensurado por Y/km^2 , verifica-se que, para os países mais pobres, com renda *per capita* até US\$ 1.164,45, o impacto sobre a emissão *per capita* diverge do esperado, uma vez que aumentos em Y/km^2 reduzem a emissão de

CO_2pc . Entretanto, para os países que compõe o segundo, terceiro e quarto regimes, o efeito é positivo e, com isto, o aumento no nível de atividade econômica faz com que a degradação ambiental aumente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A relação entre crescimento econômico e poluição descrita por Grossman e Krueger (1991), conhecida como Curva de Kuznets Ambiental, que assume forma de “U”-invertido, não consegue se estabelecer na literatura como um fato estilizado, a partir da relação positiva entre renda e poluição para países com baixo nível de desenvolvimento e negativa para os países com elevados níveis de renda. Além disso, outro problema apontado pela literatura consiste na generalização dos resultados, mesmo tendo que os países (regiões ou municípios) apresentem diferentes trajetórias nas emissões de poluentes *per capita*.

Sendo assim, este artigo estuda esta problemática no contexto global e contribui com a literatura por estimar um modelo com dados em painel com efeito *threshold*. Essa técnica incorpora um aspecto dinâmico implícito na relação de Kuznets ao permitir que cada país siga sua trajetória própria de crescimento econômico e emissão de CO_2pc , ou seja, avalia os efeitos heterogêneos da relação entre renda e poluição *per capita*. Além disso, são estimados dois tipos de modelos, um com as variáveis de controle fixas, e outro que permite que estas variem de acordo como o regime.

Com base nos testes econométricos, concluiu-se que o modelo linear não é válido, portanto, aceita a hipótese alternativa para um modelo livre, onde a relação entre emissão de CO_2pc e crescimento econômico é descrita por uma amostra dividida em quatro regimes, baseados na renda *per capita*. O primeiro regime, a ser considerado, é composto pelas economias com renda *per capita* inferior a U\$ 1.164,45. O segundo regime pode ser interpretado como o grupo de países com renda intermediária baixa, haja vista que os países possuem rendas iguais ou maiores do que U\$ 1.164,45 e menores do que U\$ 1.978,31, enquanto os países em desenvolvimento vivem com renda *per capita* anual até U\$ 14.472,42. Já os países desenvolvidos são caracterizados por terem renda superior a U\$ 14.472,42.

As evidências empíricas sugerem que a hipótese do “U”-invertido é, de fato, válida para os países desenvolvidos, renda *per capita* acima de U\$ 14.472,42. Para os países mais pobres (com faixas de renda *per capita* inferior a U\$ 14.472,42), os resultados apontam que aumentos na renda podem diminuir a pressão ambiental, no entanto, a CKA para estes países apresenta forma de S, ou seja, a forma de “U”-

invertido se verifica se forem considerados os parâmetros da renda *per capita* ao quadrado e ao cubo (altos níveis de renda).

Em relação às variáveis de controle, observou-se que o *progresso tecnológico* apresentou sinal negativo, enquanto para seu termo quadrático o sinal foi positivo, isto é, à medida que o progresso tecnológico aumenta, diminui a emissão de CO_2pc . No caso da *abertura comercial*, quanto maior a intensidade do comércio (razão entre a soma de exportação com importação sobre o PIB), maior a emissão de CO_2pc .

O consumo de energia primária, *energia*, exerce impacto positivo sobre a emissão de CO_2pc , no entanto, em relação à magnitude dos parâmetros estimados para os quatro regimes, percebe-se que, quanto maior a renda, menor a intensidade energética sobre a emissão de poluentes. Isto corrobora o argumento de Grossman e Krueger (1991) do efeito composição, ou seja, à medida que a renda aumenta, diminui a pressão ambiental em função do uso de tecnologias com baixo nível de emissão.

No caso do efeito escala, mensurado pela razão entre PIB por km^2 , para os países com renda *per capita* até U\$ 7.060,00 o impacto sobre a emissão *per capita* é negativo. Mas, para os países que compõem o segundo, terceiro e quarto regimes, o efeito é positivo, sugerindo que aumentos na atividade econômica repercutem de maneira positiva sobre a pressão ambiental.

De uma maneira geral, pode-se dizer que, ao validar a hipótese do “U”-invertido para os países mais ricos, este estudo pode ser tomado como instrumento balizador de novas políticas públicas destinadas a reduzir a emissão de CO_2pc , de forma direcionada a cada economia de acordo com o estágio de desenvolvimento em que estas se encontrem.

APÊNDICE

TABELA 1.5: MODELOS THRESHOLD COM VARIÁVEIS DE CONTROLE FIXAS

| Variável | Linear (I) | | Threshold Único (II) | | Threshold Duplo (III) | | Threshold Triplo (IV) |
|-------------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Y | -12.7592 (-17.2953) | 1° Regime | -14.1321 (-18.3127) | 1° Regime | -4.1733 (-2.1419) | 1° Regime | -4.1649 (-2.1601) |
| Y^2 | 1.7229 (19.1931) | 1° Regime | 1.8478 (19.5286) | 1° Regime | 0.6668 (2.7917) | 1° Regime | 0.6665 (2.8194) |
| Y^3 | -0.07039 (-19.5399) | 1° Regime | -0.0738 (-19.3033) | 1° Regime | -0.0271 (-2.8059) | 1° Regime | -0.0271 (-2.8352) |
| Y | - | 2° Regime | 10.3383 (4.8156) | 2° Regime | -15.9204 (-19.0489) | 2° Regime | -24.0232 (-13.5921) |
| Y^2 | - | 2° Regime | -0.8976 (-3.5052) | 2° Regime | 2.0625 (20.1090) | 2° Regime | 3.0108 (13.2784) |
| Y^3 | - | 2° Regime | 0.0275 (2.7330) | 2° Regime | -0.0824 (-19.8573) | 2° Regime | -0.1191 (-12.5008) |
| Y | - | 3° Regime | - | 3° Regime | 10.1853 (4.7813) | 3° Regime | -10.9563 (-10.9275) |
| Y^2 | - | 3° Regime | - | 3° Regime | -0.8794 (-3.4611) | 3° Regime | 1.4949 (12.3538) |
| Y^3 | - | 3° Regime | - | 3° Regime | 0.0268 (2.6827) | 3° Regime | -0.0610 (-12.6588) |
| Y | - | 4° Regime | - | 4° Regime | - | 4° Regime | 10.1309 (4.8061) |
| Y^2 | - | 4° Regime | - | 4° Regime | - | 4° Regime | -0.8730 (-3.4723) |
| Y^3 | - | 4° Regime | - | 4° Regime | - | 4° Regime | 0.0265 (2.6876) |
| <i>Tendência</i> | 0.0153 (4.2078) | Variáveis de controle | 0.0187 (5.2752) | Variáveis de controle | 0.0187 (5.3308) | Variáveis de controle | 0.0181 (5.2067) |
| <i>Tendência</i> ² | -0.0006 (-5.0862) | | -0.0006 (-5.6558) | | -0.0006 (-5.8293) | | -0.0006 (-5.809) |
| <i>Abertura</i> | 0.2022 (12.3476) | | 0.1577 (9.5866) | | 0.1563 (9.55296) | | 0.1521 (9.3681) |
| <i>Densidade</i> | -0.0131 (-1.5931) | | -0.0158 (-1.9674) | | -0.0074 (-0.9171) | | -0.0106 (-1.3165) |
| <i>Energia</i> | 0.0479 (7.6909) | | 0.0664 (10.6473) | | 0.0672 (10.8446) | | 0.0657 (10.7139) |
| Y/km^2 | 0.00000032 (-1.1640) | | -0.0000003 (-1.0981) | | 0.00000000 (0.0054) | | 0.00000002 (0.0875) |
| <i>Thresholds</i> | - | | US\$ 14.472,42 | | US\$ 820,57 | | US\$ 820,57 |
| | - | | - | | US\$ 14.472,42 | | US\$ 1.326,10 |
| | - | | - | | - | | US\$ 14.472,42 |
| Σe^2 | 780.40 | | 737.51 | | 725.57 | | 709.86 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Notas:

- i) As estimações foram corrigidas para Heteroscedasticidade.
- ii) Os valores entre parênteses reportam a estatística t.
- iii) * Significante ao nível de 1%, ** Significante ao nível de 5%, *** Significante ao nível de 10%.

TABELA 1.6: MODELOS THRESHOLD COM VARIÁVEIS DE CONTROLE VARIANDO DE ACORDO COM O REGIME

| Variável | Linear (I) | | Threshold Único (II) | | Threshold Duplo (III) | | Threshold Triplo (IV) |
|-------------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------------|
| <i>Y</i> | -12.7592* (-17.2953) | 1° Regime | -14.1177* (-10.1592) | 1° Regime | -14.2371* (-5.8593) | 1° Regime | -14.2371* (-5.8593) |
| <i>Y</i> ² | 1.7229* (19.1931) | | 1.8434* (11.0406) | | 1.8103* (6.0693) | | 1.8103* (6.0693) |
| <i>Y</i> ³ | -0.07039* (-19.5399) | | -0.0735* (-11.0531) | | -0.0704* (-5.7941) | | -0.0704* (-5.7941) |
| <i>Tendência</i> | 0.0153* (4.2078) | | 0.0223* (4.7336) | | 0.0390* (4.0196) | | 0.0390* (4.0196) |
| <i>Tendência</i> ² | -0.0006* (-5.0862) | Variáveis de controle | -0.0007* (-4.6) | Variáveis de controle | -0.0009* (-3.2281) | Variáveis de controle | -0.0009* (-3.2281) |
| <i>Abertura</i> | 0.2022* (12.3476) | | 0.1197* (5.4678) | | -0.0039 (-0.0813) | | -0.0039 (-0.0813) |
| <i>Densidade</i> | -0.0131*** (-1.5931) | | -0.0408* (-3.0550) | | 0.0602** (1.858) | | 0.0602** (1.8588) |
| <i>Energia</i> | 0.0479* (7.6909) | | 0.0731* (5.4839) | | 0.1373* (7.6016) | | 0.1373* (7.6016) |
| <i>Y/km</i> ² | -0.0000003 (-1.1640) | | -0.0000003 (-0.7783) | | -0.000001*** (-1.6971) | | -0.000001*** (1.6971) |
| <i>Y</i> | - | 2° Regime | 4.6191*** (1.5502) | 2° Regime | -11.9408* (-11.8149) | 2° Regime | -18.5100* (-7.4899) |
| <i>Y</i> ² | - | | -0.2251 (-0.6401) | | 1.6167* (13.0924) | | 2.4607* (7.3676) |
| <i>Y</i> ³ | - | | 0.0010 (0.0708) | | -0.0658* (-13.2649) | | -0.1014* (-7.0418) |
| <i>Tendência</i> | - | | 0.0113 (1.4537) | | 0.0195* (3.7766) | | 0.0585* (4.5494) |
| <i>Tendência</i> ² | - | Variáveis de controle | -0.0004** (-1.7048) | Variáveis de controle | -0.0008* (-4.7075) | Variáveis de controle | -0.0021* (-5.6417) |
| <i>Abertura</i> | - | | 0.2590* (6.8704) | | 0.1562* (6.4945) | | 0.0598*** (1.7517) |
| <i>Densidade</i> | - | | -0.0295 (-1.5060) | | -0.0758* (-5.6984) | | -0.0871*** (-1.7474) |
| <i>Energia</i> | - | | 0.0353** (1.8959) | | 0.0428* (2.4252) | | -0.0258 (-0.8278) |
| <i>Y/km</i> ² | - | | 0.00003* (9.6298) | | 0.0000003 (1.4914) | | 0.000001* (4.8923) |
| <i>Y</i> | - | 3° Regime | - | 3° Regime | 4.6191* (4.7813) | 3° Regime | -8.4429* (-7.0149) |
| <i>Y</i> ² | - | | - | | -0.2251* (-3.4611) | | 1.1939* (8.3516) |
| <i>Y</i> ³ | - | | - | | 0.0010* (2.6827) | | -0.0491* (-8.8456) |
| <i>Tendência</i> | - | Variáveis de controle | - | Variáveis de controle | 0.0113 (1.4537) | Variáveis de controle | 0.0108** (1.9868) |
| <i>Tendência</i> ² | - | | - | | -0.0004** (-1.70485) | | -0.0005* (-2.8698) |
| <i>Abertura</i> | - | | - | | 0.2590* (6.8704) | | 0.2129* (7.2689) |
| <i>Densidade</i> | - | | - | | -0.0295 (-1.5060) | | -0.0966* (-6.4018) |
| <i>Energia</i> | - | | - | | 0.0353** | | 0.0874* |

| | | | | |
|-------------------------------|--------|---------------|---------------|---------------|
| Y/km^2 | - | - | (1.89601) | (3.7889) |
| Y | - | - | 0.00003* | 0.000006* |
| Y^2 | - | - | (9.6298) | (3.7539) |
| Y^3 | - | - | - | 7.4748* |
| <i>Tendência</i> | - | - | - | (2.5222) |
| <i>Tendência</i> ² | - | - | - | -0.5627*** |
| <i>Abertura</i> | - | - | - | (-1.6122) |
| <i>Densidade</i> | - | - | - | 0.0142 |
| <i>Energia</i> | - | - | - | (1.0480) |
| Y/km^2 | - | - | - | 0.0119 |
| | - | - | - | (1.4791) |
| | - | - | - | -0.0005** |
| | - | - | - | (-1.9176) |
| | - | - | - | 0.2536* |
| | - | - | - | (6.6019) |
| | - | - | - | -0.0235 |
| | - | - | - | (-1.2006) |
| | - | - | - | 0.0412* |
| | - | - | - | (2.1972) |
| | - | - | - | 0.00003* |
| | - | - | - | (9.1288) |
| <i>Thresholds</i> | - | U\$ 13.095,19 | U\$ 1.164,45 | U\$ 1.164,45 |
| | - | - | U\$ 14.472,42 | U\$ 1.978,32 |
| | - | - | - | U\$ 14.472,42 |
| Σe^2 | 780.40 | 718.48 | 692.85 | 709.86 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Notas:

- i) As estimações foram corrigidas para Heteroscedasticidade.
- ii) Os valores entre parênteses reportam a estatística t.
- iii) * Significante ao nível de 1%, ** Significante ao nível de 5%, *** Significante ao nível de 10%.

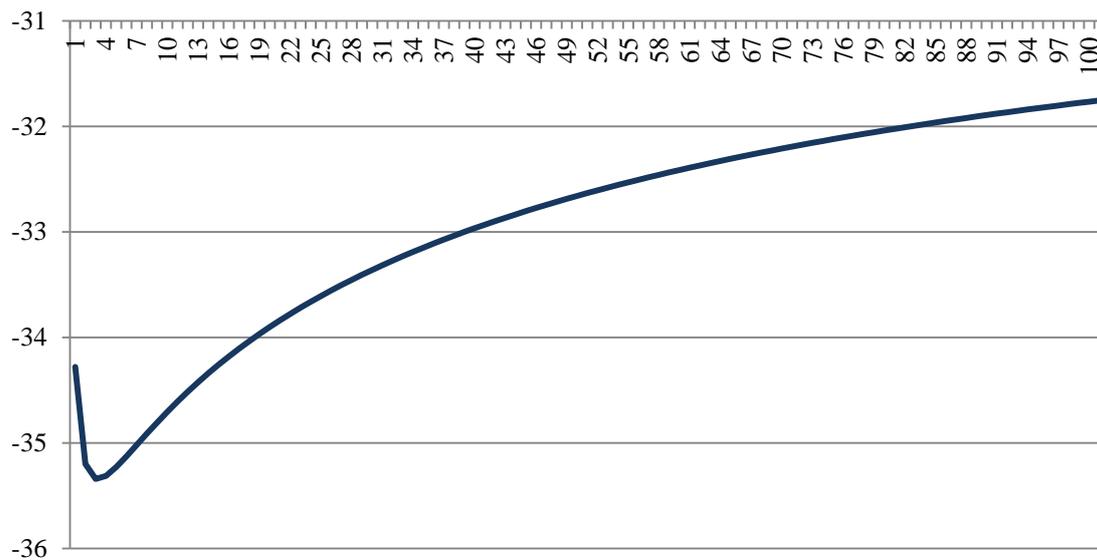


GRÁFICO 1.1: CURVA DE KUZNETS NA FORMA DE S PARA O 1º REGIME.
 FONTE: ELABORADO PELO AUTOR.

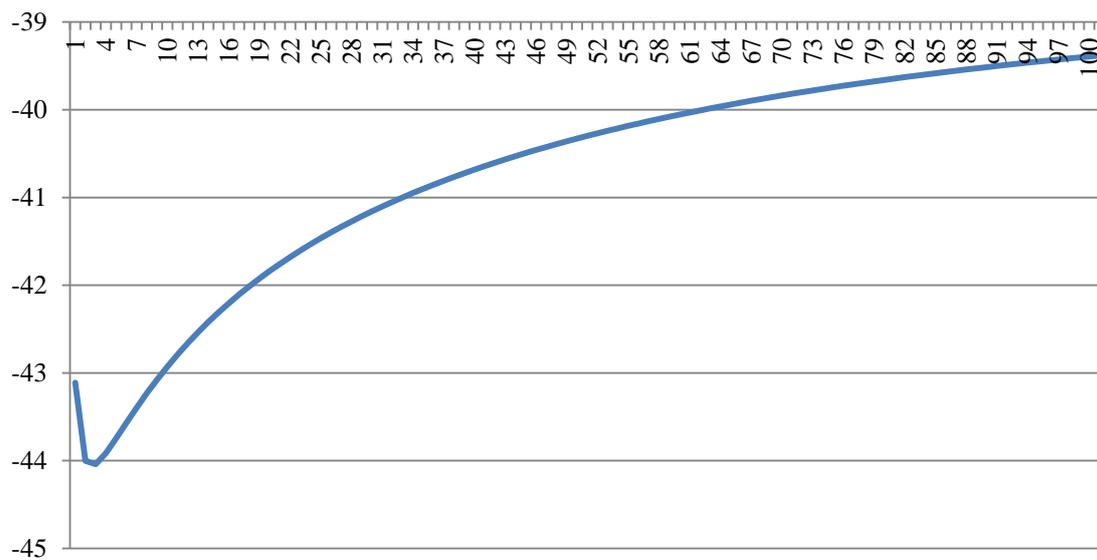


GRÁFICO 1.2: CURVA DE KUZNETS NA FORMA DE S PARA O 2º REGIME.
 FONTE: ELABORADO PELO AUTOR.

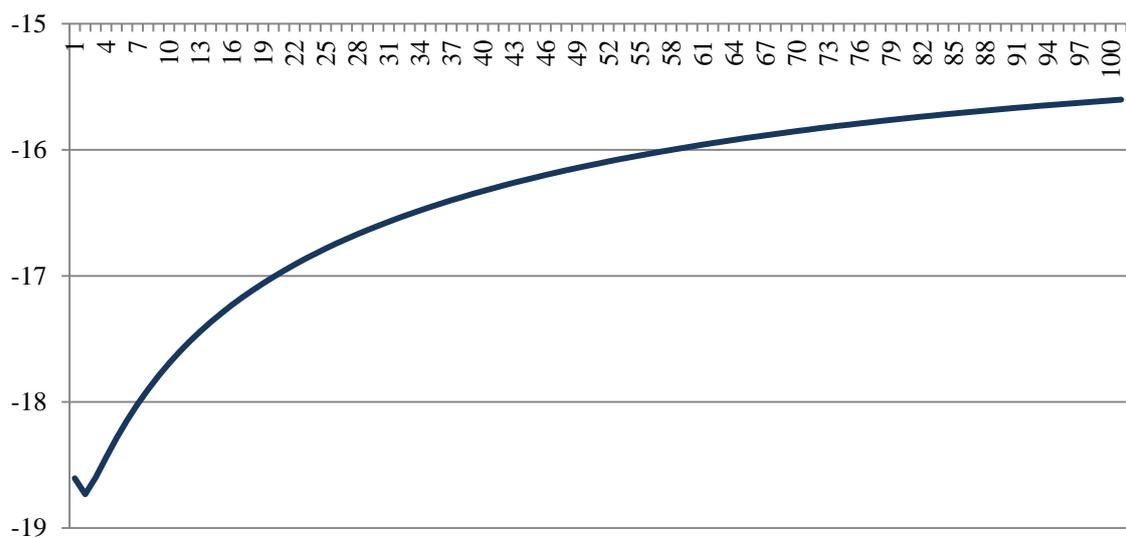


GRÁFICO 1.3: CURVA DE KUZNETS NA FORMA DE S PARA O 3º REGIME.
 FONTE: ELABORADO PELO AUTOR.

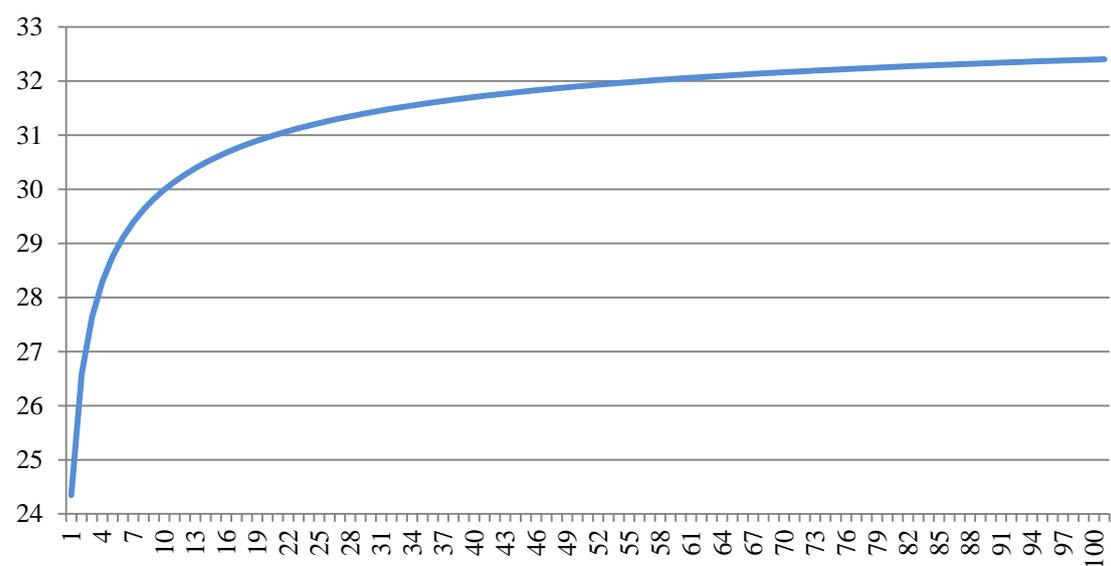


GRÁFICO 1.4: CURVA DE KUZNETS NA FORMA DE "U"-INVERTIDO PARA O 4º REGIME.
 FONTE: ELABORADO PELO AUTOR.

ANÁLISE DA TAXA DE CRESCIMENTO DA INTENSIDADE DE EMISSÃO DE CO₂

1. INTRODUÇÃO

Na última década, é notória a intensificação do debate sobre as consequências adversas do crescimento econômico sobre o meio ambiente, especialmente quando a atividade econômica tem sido apontada como o principal agente causador das mudanças climáticas. Diante disso, observa-se que uma das grandes preocupações da comunidade científica esta relacionada ao crescimento da produção e sua relação com as alterações climáticas e consequências para a humanidade.

Apesar da aparição mais intensa na mídia recentemente, esta discussão se acentuou na década de 1970, século XX, quando D'Arge (1973) utilizou um cenário malthusiano para explorar a relação entre o crescimento populacional e a degradação ambiental e, concluiu que o crescimento da população e dos fluxos materiais degrada os recursos naturais e, ainda, que ao longo do tempo esta situação deve se tornar insustentável.²⁷

As emissões de dióxido de carbono, doravante CO₂, são apontadas como a principal causa do efeito estufa e, ainda, segundo os cenários divulgados pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (2000, 2001, 2003) há a advertência de que as projeções de emissões apontam para um aumento significativo da temperatura global.²⁸

Como a maioria das atividades econômicas requer o uso de energia, pode-se dizer que existe uma relação positiva entre a atividade econômica e as emissões de CO₂, uma vez que as emissões são geradas a partir da queima de combustíveis fósseis e, estes são a principal fonte energética desde a segunda revolução industrial no século XIX.

Nesse contexto, uma questão extremamente importante e que pode contribuir para o debate sobre políticas destinadas a mitigar o aquecimento global, decorre da análise da razão entre as emissões de CO₂ e o Produto Interno Bruto (PIB), denominado como intensidade de emissão da economia, CO₂/PIB.

²⁷ A relação entre crescimento econômico e meio ambiente deriva das obras de Adam Smith, David Ricardo e John Stuart Mill, nos séculos XVIII e XIX, a partir de modelos de crescimento que postulam a necessidade de um estado estacionário.

²⁸ Stern (2006) e IPCC (2007) discutem os efeitos catastróficos do aquecimento global caso a temperatura aumente 2° C até o fim deste século.

Há de se destacar que a política ambiental tende a exercer influência sobre este índice, uma vez que a intensidade da emissão deve ser utilizada para estabelecer as linhas de base para certificação dos créditos de emissão de carbono visando tanto projetos de implementação conjunta quanto o mecanismo de desenvolvimento limpo do Protocolo de Quioto.

Assim, o principal objetivo deste estudo consiste na análise da taxa de crescimento da intensidade de emissão para os países desenvolvidos e em desenvolvimento de 1950 a 2007. Diferente da maioria dos trabalhos nessa literatura, vale ressaltar o emprego de uma metodologia econométrica para estimar a tendência ao invés de inferir a partir de inspeção visual ou de estatística descritiva como se observa na literatura especializada.²⁹

A estimação da taxa de crescimento da intensidade de emissão contribui para a discussão sobre o sistema de cotas de emissão de poluição, haja vista que as tendências estimadas apontam para a redução ou o crescimento da intensidade de emissão da economia, mais especificamente, para a emissão por dólar.

Para isto, utiliza-se de duas metodologias propostas por Perron e Yabu (2009a, 2009b). A primeira consiste em estimar a tendência determinística em um contexto onde o componente de ruído pode ser integrado ou estacionário. A segunda, que admite as mesmas propriedades do erro, se dedica a testar se existe mudança estrutural na taxa de crescimento da intensidade de emissão de CO_2 .³⁰

De uma maneira geral, a contribuição desta pesquisa para a literatura sobre as mudanças climáticas consiste na utilização de um método mais rigoroso para estudar as taxas de crescimento da intensidade de emissão de 57 países. Além de testar se essa taxa muda ao longo do período investigado.

Em caso de mudança estrutural, pode-se comparar se a data da mudança coincide com os choques do preço do petróleo ocorridos durante a década de 1970. Ao passo que, as mudanças tecnológicas – presentes ao longo do período em análise – tende

²⁹ Ver, por exemplo, Nielsson (1993), Goldemberg (1996), Mielnik e Goldemberg (1999), Ang (1999) Roca e Alcántara (2001).

³⁰ Para isto, aplicar-se-á uma transformação logarítmica na razão entre as emissões de CO_2 e o PIB para que a inclinação da tendência represente a taxa média de crescimento da intensidade de emissão de CO_2 .

a contribuir tanto para o crescimento econômico e, conseqüentemente, aumento do *PIB* quanto pela adoção de tecnologia menos intensa em emissão de CO_2 .³¹

A partir dos resultados estimados, avalia-se a taxa de crescimento da intensidade de emissão é positiva, negativa ou constante ao longo do período em questão. Isto é fundamental para estabelecer políticas destinadas a mitigar as concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa, doravante GEE, a fim de evitar os impactos climáticos e garantir o desenvolvimento sustentável do planeta.

O restante do trabalho é dividido em quatro seções. A próxima se reserva a discutir a metodologia econométrica proposta por Perron e Yabu em 2009. A base de dados é o tema da terceira seção, que contempla tanto a fonte dos dados quanto uma análise descritiva das emissões de CO_2 , do *PIB* e da intensidade de emissão. A quarta seção versa sobre a análise e discussão dos resultados. E, por fim, são tecidas as considerações finais.

³¹ Com esteio nestes argumentos, justifica-se a aplicação do teste de Perron e Yabu (2009b) para testar uma possível mudança estrutural na intensidade de emissão de CO_2 .

2. METODOLOGIA ECONOMÉTRICA

Embora pareça relativamente simples identificar a tendência de uma série temporal a partir da análise gráfica ou de estatística descritiva, o resultado pode ser enganoso dependendo de suas propriedades. O interesse em muitas pesquisas consiste em saber se existe uma tendência determinística em certas variáveis econômicas como, por exemplo, a taxa de crescimento do PIB, analisada por Canjels e Watson (1997) e Vogelsang (1998).³²

Vale destacar três aplicações em economia ambiental, realizadas por Vogelsang e Fomby (2002) Vogelsang e Franses (2005) e Cogin (2010) que analisam da hipótese de crescimento da temperatura média a partir de testes para captar a presença de uma tendência linear determinística.

Vogelsang e Fomby (2002), por exemplo, encontraram que as temperaturas globais aumentaram cerca de 0,5 graus Celsius por 100 anos. Ao analisar as tendências das séries mensais de temperatura para os Países Baixos, Vogelsang e Franses (2005) verificaram uma maior evolução positiva no inverno. Cogin (2010), por sua vez, aplica uma série de testes econométricos³³ aos dados de temperatura HadCRUT3 global³⁴ e de superfície hemisférica atualizados até 2009 e, conclui que os dados HadCRUT3 apresentam um padrão consistente de aquecimento nos últimos anos (pós-1975).

Inicialmente, este estudo estima a taxa média de crescimento da intensidade de emissão de CO_2 , a partir da seguinte forma:

$$(1) \quad y_t = \alpha + \beta t + u_t$$

Sendo y_t o logaritmo da intensidade de emissão de CO_2 , β capta a tendência determinística da série, u_t é o termo de erro, enquanto o subscrito t refere-se ao tempo, mensurado em anos, $t = 1, \dots, T$.

³² Canjels e Watson (1997) analisaram o crescimento anual das taxas de PIB per capita real em 128 países, enquanto Vogelsang (1998) estimou tanto as taxas de crescimento quanto os intervalos de confiança para as taxas de crescimento trimestrais do PIB real no pós-guerra para os países do G7.

³³ Perron (1989), Bunzel e Vogelsang (2005), Kim e Perron (2009) e Perron e Yabu (2009a, 2009b).

³⁴ HadCRUT3 global combina anomalias de temperatura de terra e mar. Para maiores detalhes ver Rayner et al. (2006) em anomalias de HadSST2 – temperatura da superfície do mar (SST).

Nesse modelo, aferir se a intensidade de emissão está aumentando ou diminuindo, é equivalente ao testar se $H_0 : \beta = 0$ *vis-à-vis* $H_1 : \beta \neq 0$. Ao não rejeitar a hipótese nula, pode-se inferir que existe uma tendência determinística na intensidade de emissão e, caso ela seja positiva, $\beta > 0$, é um indicativo de que o crescimento do país será acompanhado de um aumento das emissões de CO_2 . Se $\beta < 0$, então, pode-se dizer que o país reverteu à tendência de emissão. E, por fim, se $\beta = 0$, a intensidade de emissão de CO_2 está constante.

Para estimar a taxa de crescimento da intensidade da emissão de CO_2 utiliza-se do procedimento desenvolvido por Perron e Yabu (2009a), para estimar β na equação (1). Esta metodologia considera a inclinação da tendência como um padrão desconhecido, isto é, tendência estacionária ou contém uma raiz unitária.

O método de estimação proposto é denominado de Mínimos Quadrados Generalizados Quase Factível, o qual permite fazer inferência sobre o parâmetro de inclinação usando distribuição normal padrão.³⁵

Como as séries temporais são suscetíveis a quebras estruturais³⁶ e estas podem enfraquecer ou mesmo invalidar os resultados de testes estatísticos ao não modelar estas mudanças. Diante disso, aplica-se o teste desenvolvido por Perron e Yabu (2009b) para captar a existência de uma mudança estrutural na tendência da intensidade de emissão de CO_2 . Este teste baseia-se na estimativa de Perron e Yabu (2009a), sendo robusto para a presença de componentes de ruído estacionária ou integrada.³⁷

Além do mais, é sabido que quebras estruturais A data de mudança é estimada a partir da minimização da soma dos erros ao quadrado, sendo captada a partir da inclusão de uma variável dummy na regressão, da seguinte forma:

$$(2) \ y_t = \alpha + \beta_1 t + \beta_2 DT + e_t \quad \text{onde} \quad DT = 1(t > TB) * (t - TB)$$

³⁵ Perron e Yabu (2009a) argumentam que este teste por ser distribuído normalmente, com valor crítico ao nível de 95% de confiança de $\pm 1,96$.

³⁶ Em economia as quebras estão associadas a uma mudança sistemática como, por exemplo, guerra, depressão, recessão, choque do preço. Enquanto que em climatologia de acordo com Cogen (2010) remete a ideia de que mudança na produção industrial e, possivelmente, em outra atividade humana que aumenta a quantidade de carbono e outros poluentes atmosféricos.

³⁷ O termo integrado denota o grau de diferenciação necessário para alcançar estacionariedade (aqui significa ter média e variância constante ao longo do tempo).

Onde D representa uma variável *dummy* para captar a mudança estrutural, enquanto TB reporta a data da mudança. A estatística do teste é baseada no procedimento de Mínimos Quadrados Generalizados Quase Factível com um estimador supereficiente com datas de quebras conhecidas, a partir do teste de Wald (assintoticamente distribuído como uma variável aleatória qui-quadrado). Por outro lado, com datas de quebra desconhecida, a limitação distribuições das estatísticas de teste ainda depende da dicotomia $I(0)$ ou $I(1)$.

No entanto, os valores críticos assintóticos são muito próximos para todos os níveis de significância, assim, permitindo que um procedimento com quase o mesmo tamanho assintótico em ambos os casos, $I(0)$ e $I(1)$. Além disso, as simulações feitas por Perron e Yabu mostraram melhorias substanciais em relação aos testes existentes.³⁸

De uma maneira geral, pode-se dizer que a partir das estimativas das taxas de crescimento da intensidade de emissão de CO_2 , podem-se delinear políticas destinadas a mitigar os efeitos do aquecimento global.

³⁸ Pois possui maior amplitude e poder do que os testes de Bunzel e Vogelsang (2005) e Harvey, Leybourne e Taylor (2007).

3. BASE DE DADOS

3.1 FONTE E DESCRIÇÃO DOS DADOS

Para analisar a taxa de crescimento da intensidade da emissão, utiliza-se da razão entre as emissões de CO_2 e o PIB, CO_2/PIB , de 57 países considerando o período de 1950 a 2007. A emissão de CO_2 é disponibilizada pelo *Carbon Dioxide Information Analysis Center* (CDIAC) elaborado por Boden, Marland e Andres (2011) a qual é mensurada em milhares de toneladas métricas de carbono, e convertidas em unidades de dióxido de carbono. As emissões são aferidas a partir da queima de combustíveis fósseis, da fabricação de cimento e da queima de gás.³⁹

O PIB é extraído da *Penn World Table*, PWT 7.0, elaborada por Alan Heston, Robert Summers e Bettina Aten do Centro de Comparações Internacionais de Produção, Renda e Preços da Universidade da Pensilvânia nos Estados Unidos. Vale destacar que seus valores são expressos com base na Paridade do Poder de Compra (PPC), a valores de 2005.

³⁹ Ou seja, as emissões de CO_2 consideradas neste ensaio não contemplam as emissões decorrentes do uso do solo, especificamente, queimadas, agropecuária e agricultura. Diante disso, acredita-se que as emissões utilizadas neste ensaio estão subestimadas para todos os países.

3.2 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS

Apresentada a fonte das variáveis, emissão de CO_2 e PIB , utilizar-se-á tanto de análise descritiva quanto gráfica para descrever o comportamento destas séries ao longo do período em análise. Inicialmente, os Gráficos 2.1, 2.2 e 2.3 reportam a evolução temporal da emissão de CO_2 , do PIB e da intensidade de emissão de CO_2 de maneira agregada, isto é, considerando a soma destas variáveis para os 57 países que compõe a amostra. Em seguida, são feitas análises individuais para os países, considerando suas taxas de crescimento média do PIB, da emissão de CO_2 e da intensidade de emissão ao longo do período de 1950 a 2007.

Note no Gráfico 2.1 que a trajetória da emissão global de CO_2 apresenta uma tendência positiva de crescimento ao longo do período como um todo. No entanto, durante os anos de 1950 a 1970, pode-se pensar que houve um crescimento exponencial das emissões de CO_2 , enquanto que durante a década de 1970 até 1982, o crescimento foi mais moderado. Talvez esta desaceleração das emissões seja em decorrência dos choques do preço do petróleo ocorrido nesta década. A partir do ano 2000, as emissões passaram a crescer de maneira exponencial.

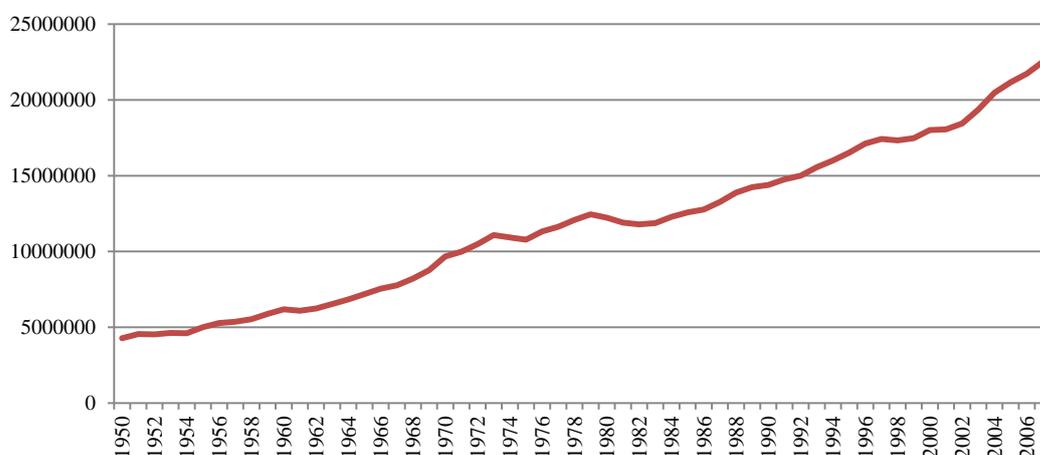


GRÁFICO 2.1: EVOLUÇÃO TEMPORAL DA EMISSÃO DE CO_2 GLOBAL, 1950 A 2007.

FONTE: ELABORADO PELO AUTOR.

No entanto, de maneira geral, observa-se uma tendência positiva das emissões de CO_2 . Mais do que isto, as emissões de CO_2 não apresentam em nenhum momento uma desaceleração e, isto, tende a contribuir e muito para o aquecimento global e, por conseguinte, as mudanças climáticas.

O Gráfico 2.2, por sua vez, reporta trajetória do PIB Global, isto é, considerando a soma do PIB dos 57 países que compõe a amostra. Observe que, assim como as emissões de CO_2 , o PIB também apresenta a priori uma tendência positiva durante o período de 1950 a 2007.

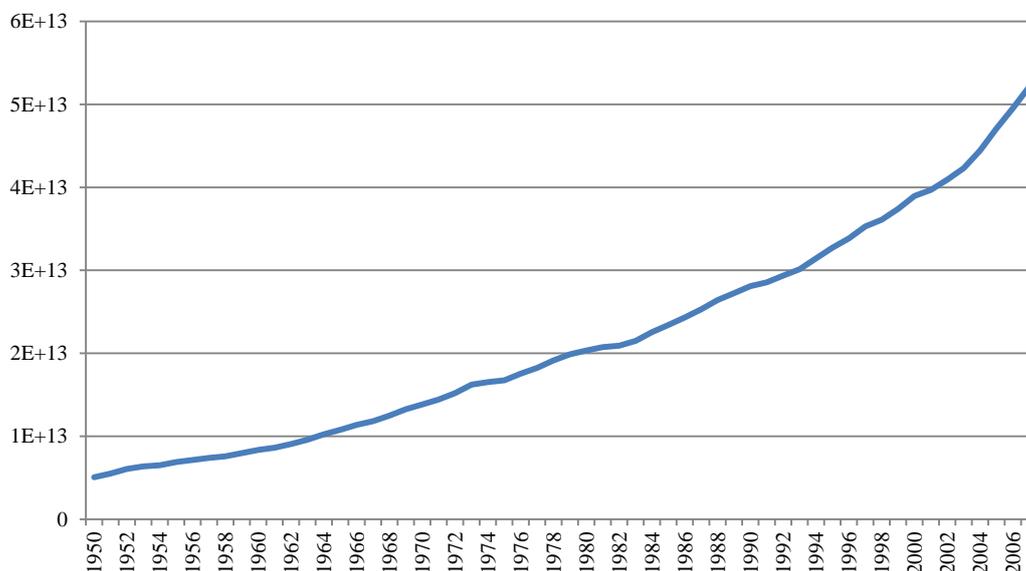


GRÁFICO 2.2: EVOLUÇÃO TEMPORAL DO PIB GLOBAL, 1950 A 2007.

FONTE: ELABORADO PELO AUTOR.

A partir destas análises, verifica-se que tanto as emissões de CO_2 quanto o PIB apresentam tendência positiva. No entanto, a trajetória do PIB mundial não apresenta oscilações como a da emissão de CO_2 . Além disso, pode-se dizer que por inspeção visual, o PIB tem crescido mais do que as emissões.

No entanto, ao analisar a trajetória temporal da intensidade de emissão de CO_2 , verifica-se de acordo com o Gráfico 2.3 uma tendência decrescente ao longo do período em análise. Vale ressaltar que, esta análise é realizada considerando tanto a soma das emissões quanto do PIB dos 57 países, de 1950 a 2007.

As análises agregadas servem como um panorama geral da trajetória global, no entanto, este artigo se propõe analisar 57 países, desenvolvidos e em desenvolvimento, de maneira individual a fim de realizar comparações das suas tendências de intensidade de emissão. Neste contexto, foram calculadas as taxas de crescimento média da emissão de CO_2 , do PIB e da intensidade de emissão de CO_2 por país considerando o período

1950 a 2007, as quais são reportadas na Tabela 2.1. A qual ainda apresenta um *ranking* para as três taxas de crescimento.



GRÁFICO 2.3: EVOLUÇÃO TEMPORAL DA INTENSIDADE DE EMISSÃO DE CO₂ GLOBAL. 1950 A 2007.
 FONTE: ELABORADO PELO AUTOR.

Note que, alguns países tiveram uma baixa taxa de crescimento médio do PIB, enquanto a taxa de crescimento da emissão de CO₂ foi elevada como, por exemplo, a Bolívia e El Salvador, Tabela 2.1. Por outro lado, países como China, Taiwan, Coreia apresentaram tanto as maiores taxas de crescimento de emissão de CO₂ quanto do PIB. Em relação ao *ranking* da intensidade de emissão, verifica-se que praticamente os dez países com as maiores níveis de emissão de CO₂ por PIB são países em desenvolvimento. Enquanto que países como Inglaterra, Bélgica e Luxemburgo detêm os menores níveis de intensidade. Estes resultados reforçam a ideia de que as ações antrópicas contribuem para a emissão de CO₂ e, por conseguinte, para o aquecimento global.

A Tabela 2.2, por sua vez, reporta apenas os dez primeiros do *ranking* por taxa de crescimento de emissão e do PIB. Note que, nos dois *rankings* aparecem apenas países em desenvolvimento, com exceção do Japão que obteve o novo lugar em crescimento do PIB durante o período de 1950 a 2007. Além do mais, percebe-se que os tigres asiáticos – Taiwan e Coreia – foram os países com maior taxa de crescimento do PIB, enquanto Tailândia e Coreia foram os países com as maiores taxas de emissão de CO₂. Em terceiro lugar, em ambos os *ranking*, aparece a China.

TABELA 2.1: TAXAS DE CRESCIMENTOS DA EMISSÃO DE CO₂, DO PIB E DA CO₂/PIB, DE 1950 A 2007.

| Países | Emissão de CO ₂ | | PIB | | Intensidade de Emissão de CO ₂ | |
|--------|----------------------------|---------|-------------------|---------|---|---------|
| | Tx de Crescimento | Ranking | Tx de Crescimento | Ranking | Tx de Crescimento | Ranking |
| ARG | 5,13 | 39 | 3,89 | 51 | 0,26 | 25 |
| AUS | 5,83 | 38 | 7,95 | 30 | -0,24 | 36 |
| AUT | 2,29 | 48 | 6,20 | 41 | -0,54 | 48 |
| BEL | 0,35 | 56 | 4,36 | 48 | -0,75 | 56 |
| BOL | 25,64 | 13 | 2,82 | 55 | 5,98 | 3 |
| BRA | 17,71 | 21 | 15,22 | 10 | 0,15 | 26 |
| CAN | 2,61 | 46 | 6,89 | 36 | -0,54 | 46 |
| CHE | 2,71 | 45 | 3,70 | 52 | -0,21 | 35 |
| CHL | 7,48 | 34 | 8,61 | 24 | -0,25 | 38 |
| CHN | 82,07 | 3 | 26,45 | 3 | 0,86 | 15 |
| COL | 7,45 | 35 | 11,56 | 18 | -0,33 | 42 |
| CRI | 27,38 | 12 | 15,09 | 11 | 0,76 | 17 |
| DNK | 1,27 | 52 | 3,98 | 50 | -0,54 | 47 |
| ECU | 39,49 | 7 | 9,93 | 21 | 2,90 | 6 |
| EGY | 17,02 | 23 | 17,59 | 6 | -0,03 | 31 |
| ESP | 9,86 | 30 | 11,40 | 19 | -0,12 | 32 |
| FIN | 8,79 | 32 | 6,38 | 40 | 0,33 | 23 |
| FRA | 0,84 | 53 | 5,74 | 44 | -0,73 | 54 |
| GBR | 0,08 | 57 | 3,19 | 54 | -0,74 | 55 |
| GRC | 22,74 | 17 | 8,01 | 29 | 1,38 | 12 |
| GTM | 19,86 | 18 | 8,18 | 28 | 1,27 | 14 |
| HND | 28,38 | 11 | 7,06 | 35 | 2,65 | 7 |
| IND | 23,20 | 15 | 14,42 | 12 | 0,57 | 19 |
| IRL | 3,55 | 42 | 8,99 | 23 | -0,54 | 49 |
| ISL | 2,16 | 49 | 10,53 | 20 | -0,73 | 53 |
| ISR | 38,91 | 8 | 26,42 | 4 | 0,46 | 21 |
| ITA | 10,00 | 29 | 6,15 | 42 | 0,54 | 20 |
| JPN | 11,19 | 28 | 15,69 | 9 | -0,27 | 39 |
| KEN | 11,35 | 27 | 6,63 | 38 | 0,62 | 18 |
| KOR | 229,30 | 2 | 34,95 | 2 | 1,98 | 11 |
| LKA | 6,56 | 36 | 11,89 | 16 | -0,41 | 44 |
| LUX | 0,46 | 55 | 8,44 | 26 | -0,85 | 57 |
| MAR | 17,10 | 22 | 11,80 | 17 | 0,41 | 22 |
| MEX | 14,44 | 25 | 13,25 | 15 | 0,08 | 29 |
| MUS | 18,27 | 19 | 7,38 | 34 | 1,30 | 13 |
| NGA | 41,18 | 6 | 6,88 | 37 | 4,35 | 4 |
| NIC | 23,08 | 16 | 4,34 | 49 | 3,50 | 5 |
| NLD | 2,38 | 47 | 5,29 | 46 | -0,46 | 45 |
| NOR | 4,07 | 40 | 6,63 | 39 | -0,34 | 43 |
| NZL | 2,81 | 44 | 4,38 | 47 | -0,29 | 41 |
| PAN | 13,02 | 26 | 17,39 | 7 | -0,24 | 37 |
| PER | 8,45 | 33 | 7,57 | 32 | 0,10 | 27 |
| PHL | 18,02 | 20 | 13,84 | 13 | 0,28 | 24 |
| PRT | 9,33 | 31 | 9,07 | 22 | 0,03 | 30 |
| PRY | 65,29 | 5 | 7,61 | 31 | 9,07 | 2 |
| SLV | 24,03 | 14 | 5,94 | 43 | 2,60 | 8 |
| SWE | 0,72 | 54 | 3,67 | 53 | -0,63 | 51 |
| THA | 288,95 | 1 | 23,84 | 5 | 10,67 | 1 |
| TTO | 14,73 | 24 | 13,45 | 14 | 0,09 | 28 |
| TUR | 29,40 | 9 | 15,75 | 8 | 0,81 | 16 |
| TWN | 71,69 | 4 | 69,70 | 1 | -0,21 | 34 |
| UGA | 29,14 | 10 | 8,24 | 27 | 2,26 | 10 |
| URY | 1,53 | 50 | 2,48 | 56 | -0,27 | 40 |
| USA | 1,30 | 51 | 5,56 | 45 | -0,65 | 52 |
| VEN | 3,32 | 43 | 8,55 | 25 | -0,55 | 50 |
| ZAF | 6,10 | 37 | 7,57 | 33 | -0,17 | 33 |
| ZAR | 3,93 | 41 | 0,37 | 57 | 2,60 | 9 |

FONTE: ELABORADO PELO AUTOR.

Em contrapartida, dentre as dez menores taxas de crescimento de emissão de CO_2 , apenas o Uruguai figura neste *ranking*, composto exclusivamente por países desenvolvidos e que segundo o Protocolo de Quioto, possuem cota de emissão e reversão da tendência de emissão de CO_2 . Vale destacar que os Estados Unidos e a Inglaterra compõe este grupo, sendo esta última detentora da menor taxa de emissão.

TABELA 2.2: AS 10 MAIORES E MENORES TAXAS DE CRESCIMENTO DA EMISSÃO DE CO_2 E DO PIB, DE 1950 A 2007.

| Emissão de CO_2 | | | PIB | | |
|------------------------------------|---------------------|---------|------|---------------------|---------|
| País | Taxa de crescimento | Ranking | País | Taxa de crescimento | Ranking |
| As 10 maiores taxas de crescimento | | | | | |
| THA | 288,95 | 1 | TWN | 69,70 | 1 |
| KOR | 229,30 | 2 | KOR | 34,95 | 2 |
| CHN | 82,07 | 3 | CHN | 26,45 | 3 |
| TWN | 71,69 | 4 | ISR | 26,42 | 4 |
| PRY | 65,29 | 5 | THA | 23,84 | 5 |
| NGA | 41,18 | 6 | EGY | 17,59 | 6 |
| ECU | 39,49 | 7 | PAN | 17,39 | 7 |
| ISR | 38,91 | 8 | TUR | 15,75 | 8 |
| TUR | 29,40 | 9 | JPN | 15,69 | 9 |
| UGA | 29,14 | 10 | BRA | 15,22 | 10 |
| As 10 menores taxas de crescimento | | | | | |
| AUT | 2,29 | 48 | BEL | 4,36 | 48 |
| ISL | 2,16 | 49 | NIC | 4,34 | 49 |
| URY | 1,53 | 50 | DNK | 3,98 | 50 |
| USA | 1,30 | 51 | ARG | 3,89 | 51 |
| DNK | 1,27 | 52 | CHE | 3,70 | 52 |
| FRA | 0,84 | 53 | SWE | 3,67 | 53 |
| SWE | 0,72 | 54 | GBR | 3,19 | 54 |
| LUX | 0,46 | 55 | BOL | 2,82 | 55 |
| BEL | 0,35 | 56 | URY | 2,48 | 56 |
| GBR | 0,08 | 57 | ZAR | 0,37 | 57 |

FONTE: ELABORADO PELO AUTOR.

Os Gráficos 2.4 e 2.5 reportam a taxa de crescimento médio do PIB contra o logaritmo da emissão média de CO_2 para dois períodos, 1950 a 1980 e 1980 a 2007, respectivamente.

Note que os Estados Unidos possuem a maior média de emissão de CO_2 com o crescimento econômico relativamente pequeno durante o período de 1950 a 1980. Em termos de emissão, Inglaterra, Japão e China apresentam uma taxa alta. No entanto, ao considerar o crescimento econômico – taxa de crescimento do PIB – verifica-se que a economia chinesa cresce a uma taxa bem mais elevada do que estes países. No entanto, as maiores taxas de crescimento econômico neste período foram dos tigres asiáticos, Taiwan e Coreia.

taxas de crescimento econômico são superiores a dele, pode-se dizer que se mantiver este ritmo de crescimento estes países tendem a superar os Estados Unidos em emissão de CO₂. Outros países desenvolvidos que também aumentaram seus níveis de emissão são Brasil e México e, assim como China e Índia não possuem cota de emissão pelo Protocolo de Quioto.

Com base nestas evidências, pode-se dizer que os países desenvolvidos possuem as menores taxas de emissão, enquanto os países em desenvolvimento estão entre os que possuem as maiores taxas.

Ao analisar a taxa de crescimento da intensidade de emissão de CO₂ – razão entre a emissão e o PIB – para 57 países, é possível observar tanto na Tabela 2.1 quanto no Gráfico 2.6, que os países com as maiores taxas de crescimento da intensidade de emissão são os países em desenvolvimento como Tailândia, Paraguai, Bolívia, Nicarágua. Por outro lado, os países desenvolvidos como Estados Unidos, França e Inglaterra, por exemplo, possuem taxa de decrescimento da intensidade de emissão. Diante disso, pode-se pensar que estes países estão utilizando tecnologias de baixo carbono, ou seja, menos intensiva em poluição.⁴⁰

Com esteio nestas evidências descritivas, pode-se dizer que existe uma relação positiva entre crescimento econômico e emissão de CO₂, assim como um existe uma relação positiva com a intensidade de emissão. No entanto, como este artigo se propõe a estimar a taxa de crescimento da intensidade de emissão e, ainda a testar se houve mudança estrutural nesta relação por meio de uma técnica econométrica, reserva-se a próxima seção para esta análise. Vale ressaltar que isto tende a gerar maior confiabilidade nos resultados, diferentemente da inspeção visual ou estatística descritiva como realizado nesta seção.

⁴⁰ Vale ressaltar que o efeito estufa é função do estoque de CO₂ acumulado durante um período de aproximadamente 100 anos.

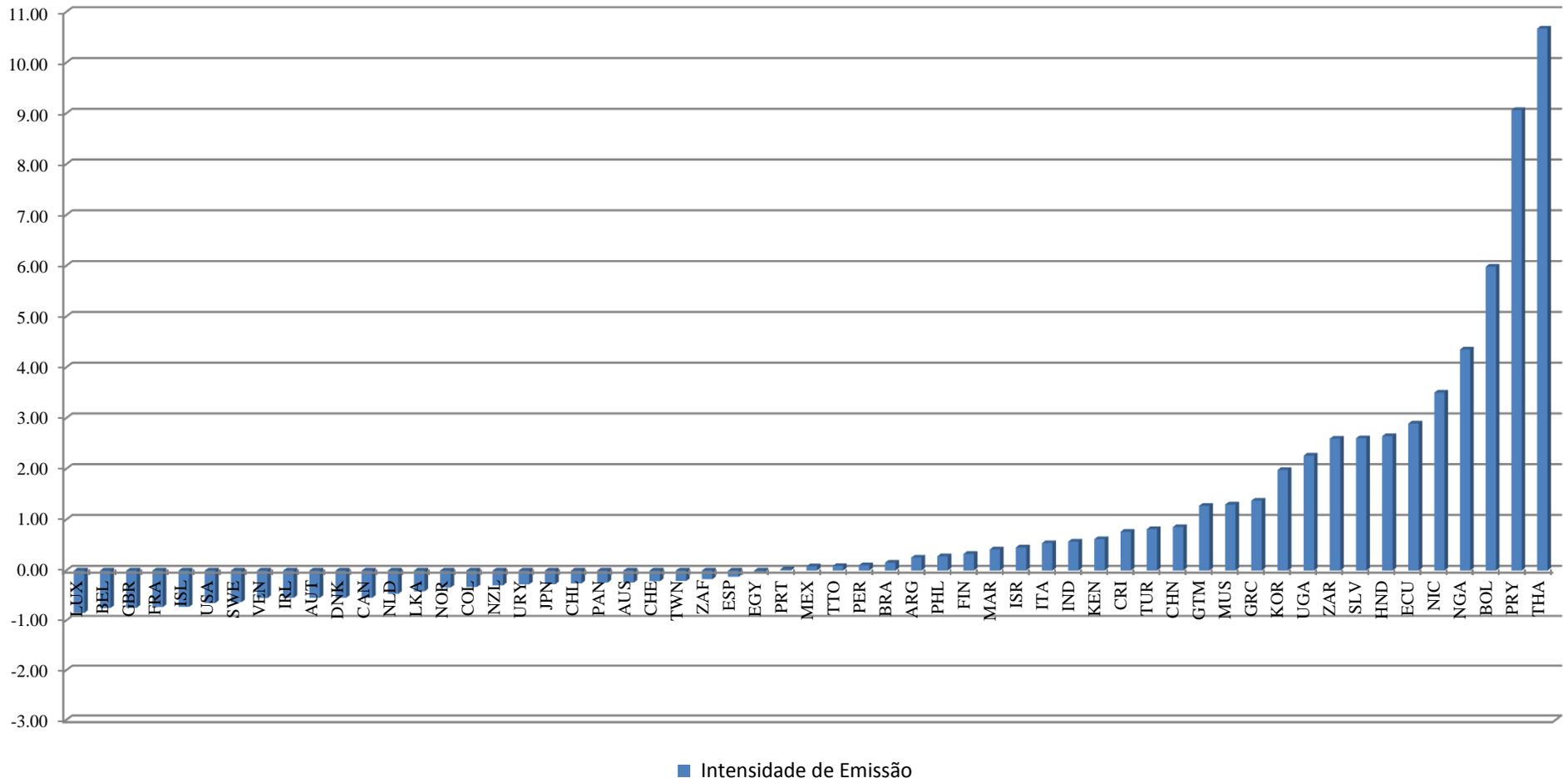


GRÁFICO 2.6: TAXA DE CRESCIMENTO DA INTENSIDADE DE EMISSÃO DE CO₂.
 Fonte: Elaborado pelo autor.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para estimar a taxa de crescimento aplica-se o teste de Perron e Yabu (2009a) no modelo, $\ln y_t = \beta t + \varepsilon_t$, quando não se sabe *a priori* se a intensidade da emissão de CO_2 é tendência estacionária ou contém uma raiz unitária. Além deste teste, emprega-se o procedimento também desenvolvido por Perron e Yabu (2009b) para testar a existência de uma mudança estrutural na tendência da intensidade de emissão de CO_2 , $\ln y_t = \alpha + \beta_1 t + \beta_2 DT + e_t$ onde $DT = 1(t > TB) * (t - TB)$, haja vista que séries temporais são bastante suscetíveis a mudanças em longos períodos de tempo.

Primeiramente, serão apresentadas as estimativas das taxas de crescimento da intensidade de emissão reportadas na Tabela 2.3, que ainda contempla o intercepto e o intervalo de confiança (95%) para a tendência. Em seguida, são apresentados os resultados dos testes de mudança estrutural, contidos na Tabela 2.4.

No tocante as estimativas das taxas de crescimento da intensidade de emissão de CO_2 , Tabela 2.3, verificam-se que de acordo com o teste $H_0 : \beta = 0$ *vis-à-vis* $H_0 : \beta \neq 0$, que dos 57 países que compõem a amostra, 22 possuem taxa de crescimento positiva da intensidade da emissão, $\beta > 0$, enquanto que em 30 a taxa de crescimento permanece constante, $\beta = 0$, e, apenas 5, apresentaram taxa de crescimento negativa $\beta < 0$, da intensidade de emissão de CO_2 .

Dentre os países que possuem tendência decrescente estão Itália, Bélgica, Israel, Taiwan e Áustria. Entre estes, três possuem cota de emissão e o compromisso de reverterem à tendência de emissão por pertencerem ao Anexo I do Protocolo de Quito – Itália, Bélgica e Áustria, conforme o Quadro 2.1, em Apêndice.

Os Gráficos 2.7 e 2.8, reportam os coeficientes de tendência determinística e o intervalo com 95% de confiança dos β 's estimados. Note que, dentre os países com tendência negativa, a Itália foi quem apresentou a maior taxa de decrescimento da intensidade de emissão de CO_2 . Por outro lado, Congo e Venezuela – ZAR e VEN – apresentam a maior taxa de crescimento e, de acordo com o Quadro 2.1, estes dois países não possuem cotas de emissão.

TABELA 2.3: ESTIMATIVAS DA TENDÊNCIA DE CO₂/PIB, PERRON E YABU (2009A)

| País | Intercepto | Tendência | Limite inferior do IC (95%) | Limite superior do IC (95%) |
|------|------------|-----------|-----------------------------|-----------------------------|
| ARG | 0.3910 | 0.0189 | 0.0053 | 0.0324 |
| AUS | 0.2678 | 0.0114 | 0.0009 | 0.0219 |
| AUT | -0.0854 | -0.0108 | -0.0182 | -0.0034 |
| BEL | 0.9787 | -0.0209 | -0.0332 | -0.0086 |
| BOL | -0.4888 | 0.0319 | -0.0286 | 0.0924 |
| BRA | -15.731 | 0.0226 | -0.0136 | 0.0589 |
| CAN | -66.613 | 0.0431 | -0.0236 | 0.1097 |
| CH | -13.806 | 0.0138 | -0.0204 | 0.0480 |
| CHE | -0.9669 | 0.0326 | 0.0175 | 0.0477 |
| CHL | 26.024 | -0.0013 | -0.0243 | 0.0216 |
| COL | 0.2370 | 0.0014 | -0.0295 | 0.0324 |
| CRI | 17.621 | 0.0570 | 0.0441 | 0.0699 |
| DNK | 0.7772 | 0.0537 | 0.0417 | 0.0657 |
| ECU | 0.1815 | 0.0176 | -0.0138 | 0.0491 |
| EGY | -32.020 | 0.0375 | -0.0199 | 0.0950 |
| ESP | -0.6167 | 0.0016 | -0.0176 | 0.0209 |
| FIN | -44.010 | 0.0283 | -0.0014 | 0.0581 |
| FRA | -15.375 | 0.0012 | -0.0311 | 0.0335 |
| GBR | -0.5424 | -0.0072 | -0.0295 | 0.0150 |
| GTM | -10.552 | 0.0500 | 0.0121 | 0.0879 |
| HND | -25.175 | 0.0574 | 0.0316 | 0.0832 |
| IND | 15.301 | 0.0222 | 0.0016 | 0.0429 |
| IRL | 0.4247 | 0.0085 | -0.0089 | 0.0258 |
| ISL | -14.965 | 0.0103 | -0.0196 | 0.0401 |
| ISR | 24.095 | -0.0177 | -0.0237 | -0.0117 |
| ITA | 32.691 | -0.0291 | -0.0377 | -0.0205 |
| KEN | -17.667 | 0.0438 | 0.0214 | 0.0662 |
| KOR | -0.1848 | 0.0045 | -0.0156 | 0.0247 |
| LKA | -15.675 | 0.0260 | 0.0036 | 0.0484 |
| LUX | -52.246 | 0.0284 | 0.0080 | 0.0488 |
| MAR | 30.288 | 0.0320 | 0.0143 | 0.0497 |
| MEX | -0.3451 | 0.0065 | 0.0033 | 0.0098 |
| MUS | -26.367 | -0.0002 | -0.0222 | 0.0219 |
| NGA | -0.9444 | 0.0549 | 0.0232 | 0.0866 |
| NIC | 17.187 | 0.0406 | 0.0133 | 0.0680 |
| NLD | -37.008 | 0.0205 | 0.0008 | 0.0402 |
| NOR | -28.312 | 0.0659 | 0.0261 | 0.1057 |
| NZL | -32.636 | 0.0195 | -0.0149 | 0.0540 |
| PAK | 10.473 | -0.0137 | -0.0359 | 0.0086 |
| PAN | -0.9935 | 0.0224 | -0.0033 | 0.0482 |
| PER | 10.227 | 0.0332 | 0.0092 | 0.0571 |
| PHL | -28.148 | 0.0308 | -0.0182 | 0.0798 |
| PRI | -16.992 | 0.0302 | -0.0288 | 0.0891 |
| PRT | -39.276 | 0.0193 | -0.0087 | 0.0474 |
| PRY | 21.284 | 0.0069 | -0.0094 | 0.0233 |
| SLV | -0.2406 | 0.0142 | -0.0073 | 0.0357 |
| SWE | -14.827 | 0.0008 | -0.0135 | 0.0152 |
| THA | -19.837 | 0.0106 | -0.0262 | 0.0475 |
| TTO | -10.551 | 0.0043 | -0.0192 | 0.0277 |
| TUR | -0.8092 | 0.0244 | -0.0059 | 0.0547 |
| TWN | 0.2112 | -0.0154 | -0.0298 | -0.0011 |
| UGA | -36.792 | 0.0644 | 0.0210 | 0.1078 |
| URY | -41.133 | 0.0417 | 0.0096 | 0.0738 |
| USA | -0.5105 | -0.0115 | -0.0306 | 0.0076 |
| VEN | -30.951 | 0.0891 | 0.0625 | 0.1157 |
| ZAF | -16.350 | 0.0329 | 0.0132 | 0.0527 |
| ZAR | 11.107 | 0.0817 | 0.0472 | 0.1162 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

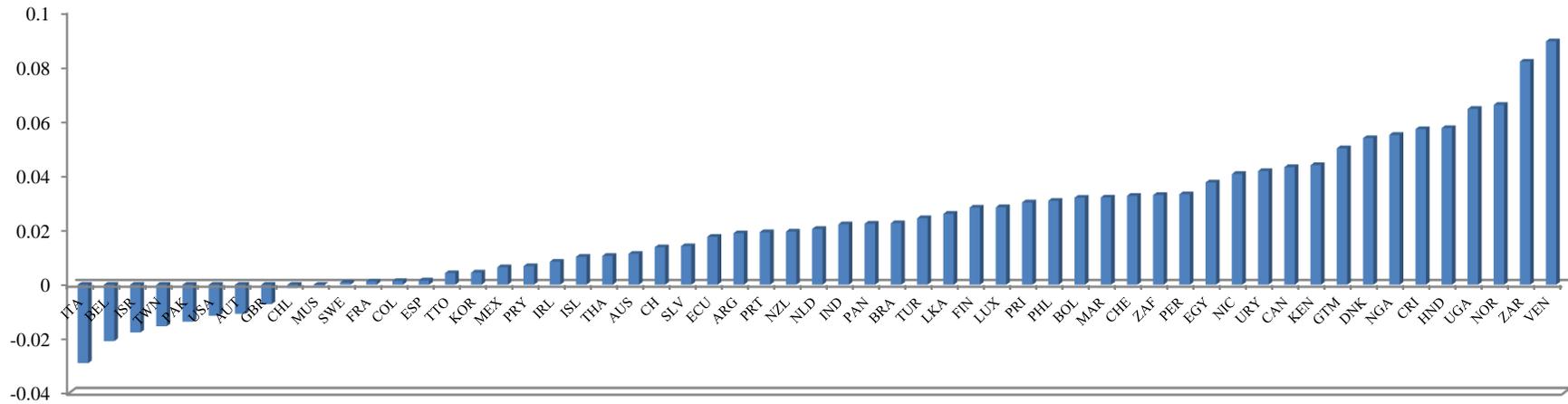


GRÁFICO 2.7: TENDÊNCIA DA INTENSIDADE DE EMISSÃO DE CO₂.
 Fonte: Elaborado pelo autor.

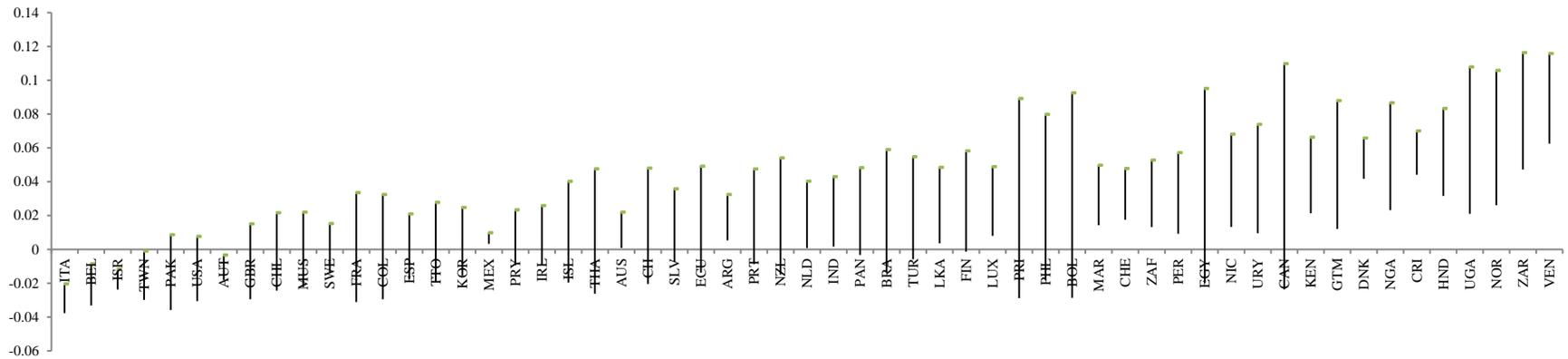


GRÁFICO 2.8: INTERVALO DE CONFIANÇA, 95%, PARA TENDÊNCIA DA INTENSIDADE DE EMISSÃO DE CO₂.
 Fonte: Elaborado pelo autor.

No entanto, verifica-se pelo Gráfico 2.8 que apesar de apresentar uma tendência positiva da intensidade de emissão, $\beta > 0$, o intervalo de confiança indica que $\beta = 0$. Além disso, também se observa que alguns intervalos são mais amplos do que outros como, por exemplo, Canada versus Itália.

Além disso, é importante destacar que Estados Unidos, Inglaterra e França não apresentaram tendência estatisticamente significativa e, por isso, pode-se dizer que taxa de crescimento destes países permanece constante. Enquanto que Brasil, Índia, China e África do Sul – países em desenvolvimento que compõem o grupo denominado BRICs⁴¹ – a taxa de crescimento é positiva e, por isso, a intensidade de emissão de CO_2 tende a aumentar no longo prazo, caso os países continuem na trajetória crescente do produto. Principalmente porque o PIB destas economias cresce a uma taxa média de 8% ao ano, praticamente, o dobro da taxa de crescimento global.

Este tem sido o grande entrave para que haja um acordo global, uma vez que a estratégia de negociação dos países em desenvolvimento se apega no discurso de que o aquecimento global é decorrência do estoque de emissão acumulado durante os séculos XVIII e XIX. Por outro lado, os países desenvolvidos argumentam que estão reduzindo seus níveis de emissão, enquanto os países em desenvolvimento se mantiverem estas taxas de crescimento em breve irão igualar os níveis dos países desenvolvidos.

Como a razão entre as emissões de CO_2 e o *PIB* pode sofrer mudanças estruturais ao longo do tempo tanto em função de choques tecnológicos na matriz energética quanto pelo crescimento econômico e, isto, pode afetar os resultados dos testes estatísticos é preciso modelar, caso existam, estas quebras estruturais. Para isto, utiliza-se do procedimento de Perron e Yabu (2009b) para testar (e estimar) se as taxas de crescimento da intensidade de emissão de cada país possuem mudanças estruturais.⁴²

A Tabela 2.4, reporta as estimativas da tendência antes e depois da quebra, bem como a data da quebra e a estatística – t, utilizada para aferir a significância da mudança estrutural na intensidade de emissão de CO_2 de cada país. Verifica-se que, dos 57 países

⁴¹ BRICS é o acrograma de Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul. No entanto, este estudo não possui resultados para a Rússia em função da indisponibilidade das informações.

⁴² No entanto, é bom ressaltar que como a amostra dispõe de apenas 58 observações temporais, 1950 a 2007, permitiu apenas a possibilidade de uma quebra estrutural. Todavia, é possível aplicar o procedimento desenvolvido por Perron e Yabu (2009b) para estimar mais quebras.

em análise, 19 apresentaram mudança estrutural significativa ao nível de 5%.⁴³ Ou seja, para 38 países as estimativas do modelo linear, apresentado na Tabela 2.3, estão válidas, enquanto estes 18, a análise deve se concentrar nos resultados da Tabela 2.4.⁴⁴

TABELA 2.4: ESTIMATIVAS E TESTE DE MUDANÇA ESTRUTURAL DA TENDÊNCIA DE CO_2/PIB , 1950-2007.

| País | Data da quebra | Intercepto | Tendência Pré-quebra | Estatística do teste | Tendência Pós-quebra |
|------|----------------|------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| ARG | 1987 | 0,3832 | 0,0267 | 2,6605 | 0,0047 |
| AUS | 1990 | 0,2579 | 0,0213 | 2,8455 | -0,012 |
| BOL | 1972 | -0,5598 | 0,1029 | 10,7016 | -0,0127 |
| CAN | 1972 | -6,8101 | 0,1919 | 5,6195 | -0,0504 |
| CH | 1973 | -1,4316 | 0,0647 | 2,1736 | -0,0229 |
| CHL | 1978 | 2,5802 | 0,0209 | 3,3723 | -0,0235 |
| COL | 1968 | 0,1826 | 0,0558 | 4,9102 | -0,0237 |
| HND | 1984 | -2,5904 | 0,0853 | 59,2936 | 0,0191 |
| IRL | 1979 | 0,4009 | 0,0323 | 3,9973 | -0,0162 |
| ISL | 1970 | -1,5476 | 0,0577 | 8,1582 | -0,0146 |
| ITA | 1984 | 3,3015 | -0,0382 | 35,4821 | -0,0176 |
| KOR | 1970 | -0,241 | 0,0607 | 9,6298 | -0,0284 |
| MUS | 1968 | -2,6931 | 0,0588 | 244,9498 | -0,0289 |
| NGA | 1998 | -0,9641 | 0,0745 | 2,6292 | -0,0499 |
| NOR | 1972 | -2,884 | 0,1187 | 12,3305 | 0,0327 |
| PRY | 1968 | 2,1007 | 0,0347 | 2,8207 | -0,0062 |
| UGA | 1989 | -3,7122 | 0,0974 | 1,9936 | -0,0071 |
| USA | 1970 | -0,5585 | 0,0365 | 4,9508 | -0,0374 |
| ZAF | 1985 | -1,8931 | 0,0477 | 1,8875 | 0,0198 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota: O valor crítico do teste de quebra estrutural ao nível de 5% é de 1,67.

Assim como no caso linear optou-se pela análise gráfica para tecer os comentários das tendências, antes e após, as quebras estruturais. Observe no Gráfico 2.9 que a Itália, assim como no modelo linear, foi o país que apresentou a maior taxa de crescimento negativa da intensidade de emissão, considerando as informações antes da quebra estrutural, em 1984. Após esta mudança estrutural, a Itália ainda apresenta uma tendência decrescente, porém sua taxa de crescimento de emissão de CO_2 não figura mais como a maior taxa de decrescimento.

Por outro lado, o Canadá, que antes da quebra em 1972, apresentava a maior taxa de crescimento, reverteu à tendência e, ainda, é o país com a maior taxa de decrescimento da intensidade de emissão de CO_2 , seguido pela Nicarágua. Além disso, é importante destacar que a taxa de crescimento dos Estados Unidos, antes da quebra em 1970, era positiva e, após a quebra, a tendência passou a ser negativa. Ou seja, o país que detêm o maior nível de emissão de CO_2 e não ratificou o Protocolo de Quioto em 1997, apresenta uma tendência decrescente da intensidade de emissão de CO_2 . Enquanto

⁴³ O valor crítico do teste de quebra estrutural ao nível de 5% é de 1,67, sendo assim, países com estatística inferior a 1,67 as estimativas válidas são as do modelo linear, reportado na Tabela 2.3.

⁴⁴ A Tabela 2.6, em Apêndice, contempla as estimativas para os 57 países.

Argentina e Honduras, que não possuem metas de redução das emissões conforme o Protocolo de Quioto apresentam tendência crescente, após a quebra estrutural, em 1987 e 1984.

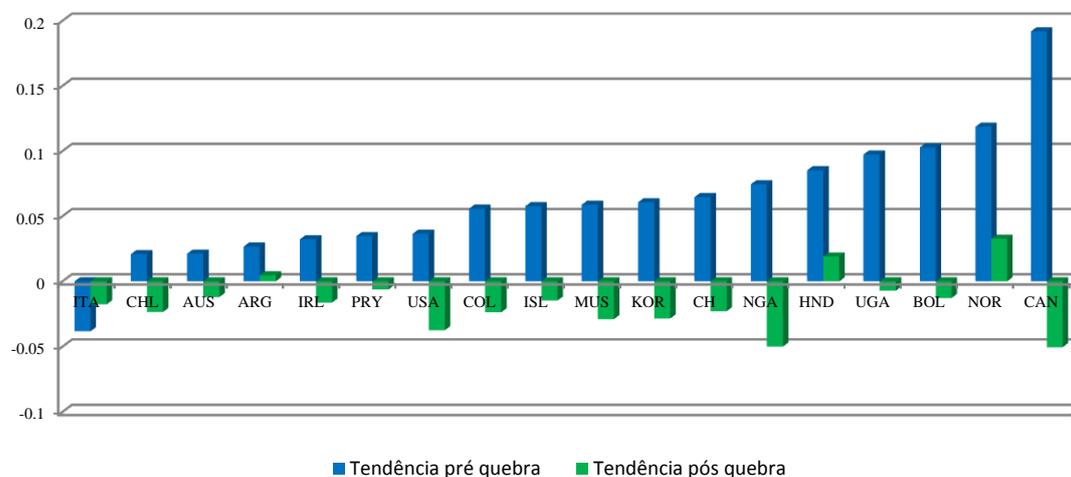


GRÁFICO 2.9: TENDÊNCIA DA INTENSIDADE DE EMISSÃO DE CO_2 , PRÉ E PÓS QUEBRA ESTRUTURAL.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação à data de quebra estrutural mais comum, a quebra modal, percebe-se que os anos de 1968, 1970 e 1972 foram os mais frequentes no teste de mudanças estruturais na intensidade de emissão de CO_2 . A Tabela 2.5 reporta os anos e os países. Observa-se que, em 1968, Paraguai, Colômbia e Maurícios tiveram mudança estrutural. Em 1970, o mesmo ocorreu nos Estados Unidos, Islândia e Coreia do Sul. E, por fim, em 1972 foi à vez da Bolívia, Noruega e Canadá.

Note que, o ano modal da mudança estrutural, contempla o período do primeiro choque do preço do petróleo, durante a década de 1970. O que corrobora com a hipótese de Lanne e Liski (2003) sobre as fases de emissão de CO_2 , na qual os autores argumentam que houve uma mudança permanentemente na estrutura das emissões de combustíveis fósseis em consequência dos choques do preço do petróleo durante a década de 1970.

TABELA 2.5: ANO MODAL DA DATA DA QUEBRA ESTRUTURAL

| Ano | 1968 | | | 1970 | | | 1972 | | |
|------|------|-----|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|
| País | PRY | COL | MUS | USA | ISL | KOR | BOL | NOR | CAN |

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos resultados da Tabela 2.4.

O Gráfico 2.10 reporta as taxas de crescimento da intensidade de emissão de CO_2 dos 57 países que compõe a amostra, sendo que para os 18 países no qual houve

mudança estrutural são considerados os β 's depois da quebra, enquanto os outros 39 países os parâmetros reportados são do modelo sem quebra. Esta análise tem por objetivo comparar a magnitude da tendência da intensidade de emissão dos 57 países.

Note que, existem pelo menos três grupos de países, um praticamente formado pelos países desenvolvidos que apresentou taxa de decrescimento da intensidade de emissão, outro composto por França, Suécia e Espanha, com tendência estável ($\beta = 0$) e, por fim, um terceiro grupo composto por países em desenvolvimento com taxa de crescimento positiva da intensidade de emissão de CO_2 .

Diante desses resultados, pode-se dizer que a relação entre emissão de CO_2 e atividade econômica entre os países em desenvolvimento tem sido mais intensa do que nos países desenvolvidos. Deste modo, é preciso que as políticas para mitigar as emissões de gases que causam efeito estufa e de preservação do meio ambiente, contemplem os países desenvolvidos e, principalmente, os países em desenvolvimento. Lembrando que, os efeitos do aquecimento global gera externalidades negativas⁴⁵ para os demais países e, por isso, é preciso que estas políticas considerem todos os países, independente do estágio em que suas economias se encontrem.

Sendo assim, em termos de política global para dirimir os efeitos do aquecimento global, no curto prazo é preciso ampliar do número de países com metas obrigatórias de reduções de emissão de gases de efeito estufa, tendo como foco a inclusão dos EUA e dos principais países em desenvolvimento Índia, Brasil, África do Sul e México. No entanto, sugere-se ainda um conjunto de regras diferenciadas para determinados grupos de países, pois segundo Aldy (2006) é preciso incentivar a participação dos países em desenvolvimento a aceitarem as cotas de emissão.

Além do mais, é preciso que o sistema de cota considere o histórico de emissão do país, haja vista que a concentração de gases que causam o efeito estufa e, por consequência, o aquecimento global remete ao padrão de desenvolvimento e crescimento econômico dos últimos dois séculos, principalmente, pelo consumo de energia fóssil a partir da Revolução Industrial no século XIX.

⁴⁵ Principalmente porque o custo social das emissões de poluentes não é internalizado por nenhum agente econômico.

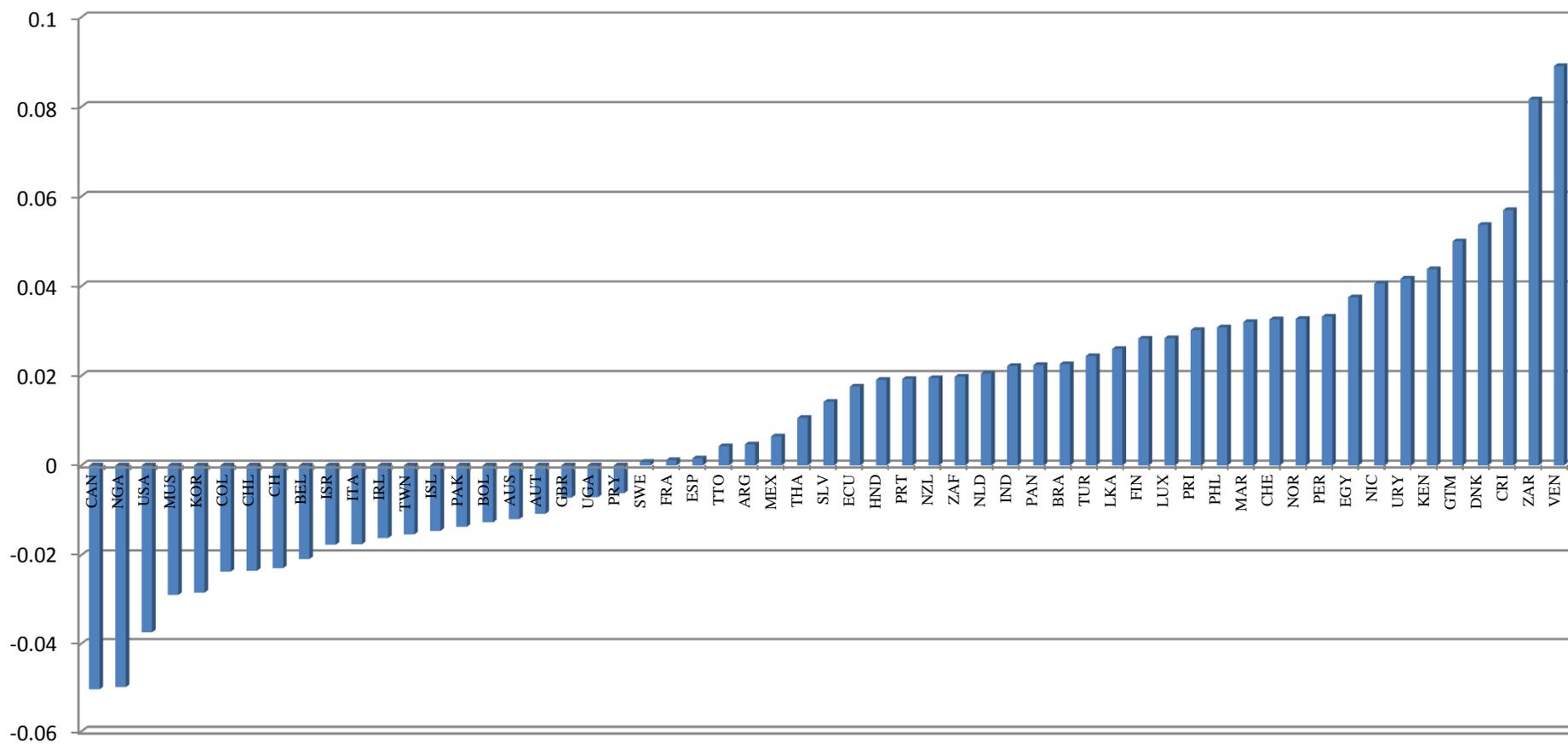


GRÁFICO 2.10: TENDÊNCIA DA INTENSIDADE DE EMISSÃO DE CO₂.
 Fonte: Elaborado pelo autor.

Neste sentido, é preciso delinear mecanismos que incentive estes países a reverterem esta tendência de intensidade de emissão, para mitigar os efeitos da emissão de CO_2 sobre as mudanças climáticas ocorridas desde o século XX. Segundo Romero-Ávila (2008) os Estados Unidos não ratificaram o Protocolo de Quioto e não adotam medidas estabelecidas nos fóruns mundiais sobre o meio ambiente porque China e Índia, principalmente, em virtude da tendência de emissão de poluentes observadas podem igualar e/ou ultrapassar as emissões praticadas pelos países desenvolvidos.

A reversão da tendência da intensidade de emissão depende dos objetivos de curto, médio e longo prazo de cada país. Ao mesmo tempo em que devem ser consideradas as restrições orçamentárias e eleitoral, uma vez que, os países em desenvolvimento, principalmente, não podem abrir mão do crescimento econômico baseado na tecnologia já instalada, pois pode custar muito mudar nessa fase. Entretanto, é preciso que haja desenvolvimento sustentável e, para isso, é necessário estabilizar as emissões de GEE para evitar os impactos dos efeitos climáticos sobre a sociedade mundial.

De uma maneira geral, seja pelo modelo linear ou pelo modelo com quebra estrutural, pode-se dizer que os países em desenvolvimento apresentam tendência (taxa de crescimento) da intensidade de emissão superior aos países desenvolvidos. Este resultado remete à ideia de que os países em desenvolvimento podem estar crescendo a partir de plantas produtivas intensivas em emissão de CO_2 e, ainda, que pode estar havendo uma transferência de indústria intensiva em poluição dos países desenvolvidos para os em desenvolvimento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para Acemoglu et al (2010) ações que buscam controlar e limitar as alterações climáticas causadas pelo crescente consumo de combustíveis fósseis, bem como o desenvolvimento de fontes alternativas de energia para estes combustíveis estão entre os desafios mais prementes da política que o mundo enfrenta atualmente.

Em outros termos, o desafio que a humanidade enfrenta em âmbito global consiste na construção de um regime de coordenação política internacional, visando à estabilização das concentrações atmosféricas dos GEE visando dirimir os impactos dos efeitos climáticos sobre a sociedade. Posto isto, analisou-se a taxa de crescimento da intensidade de emissão, aferida pela razão entre as emissões de CO_2 e do PIB real a valor de 2005 pela PPC.

A partir deste índice, pode-se dizer de maneira geral que, os países industrializados estão diminuindo a intensidade da emissão de CO_2 , enquanto que os países em desenvolvimento estão no sentido contrário, isto é, aumentando a taxa de intensidade de emissão de CO_2 da economia.

Com base nos resultados, pode-se pensar que as conclusões de autores como Suri e Chapman (1998), Cole (2004), Arrow et al (1995) e Stern et al (1996) de que as economias desenvolvidas estariam mudando suas plantas produtivas, intensivas em poluição, para os países menos desenvolvidos em função destes possuírem leis ambientais menos rigorosas. Sendo assim, estas economias estariam aumentando sua produção interna e, concomitantemente, aumentando sua emissão de CO_2 , uma vez que elas podem se valer de ganho de competitividade na produção de bens intensivos em poluição.

Além disso, os resultados ainda corroboram com a tese de que as economias desenvolvidas já estariam no terceiro estágio descrito pela Curva de Kuznets Ambiental – economia pós-industrial, voltada para a prestação de serviços. Neste estágio, de acordo com Grossman e Krueger (1991, 1995) espera-se que o nível de emissão de poluentes seja cada vez menor, enquanto o nível de renda seja elevado.

Com esteio nestas observações, uma sugestão de política ambiental a ser adotada em nível global, seria uma ação conjunta e coordenada entre todas as nações por meio de acordos internacionais amplos de redução das emissões globais em 50% até 2050, como descrito por Aímola (2008).

Os países em desenvolvimento terão um papel crescente nas emissões totais dos gases que causam o efeito estufa, por isso, é preciso que estes países adotem medidas para reduzir as emissões de poluentes a fim de mitigar o aquecimento global. Ao mesmo tempo, as nações mais desenvolvidas poderiam transferir tecnologias de baixa emissão de poluentes para as nações menos desenvolvidas, o que aumentaria a eficiência energética destes países e, por conseguinte, aumentaria o bem-estar global em função de reduzir o aquecimento global.

Segundo Acemoglu et al (2010) este subsídio a tecnologias limpas pode representar uma forma eficiente de combate ao aquecimento global, principalmente por aumentar a velocidade de convergência para uma economia de baixa emissão de gases causadores do efeito estufa.

Em suma, no curto prazo, cabe aos países desenvolvidos reduzir as emissões de GEE, enquanto os países em desenvolvimento devem se engajar nas metas de reduções significativas de emissão ao longo das próximas décadas. Todavia, deve haver regimes diferenciados em decorrência do histórico de emissões. No médio e longo prazo, são necessários investimentos em P&D visando tanto o baixo nível de emissão de CO₂ quanto à captura e estocagem de carbono.

APÊNDICE

| Anexo I | Países signatários, mas não pertencem ao Anexo I |
|---|---|
| Austrália, Áustria, Belarus**, Bélgica, Bulgária, Canada, Croácia**, República Checa **, Dinamarca, Estônia, União Europeia, Finlândia, França, Alemanha, Grécia, Hungria, Islândia, Irlanda, Itália**, Japão, Letônia Liechtenstein**, Lituânia, Luxemburgo, Malta, Mônaco**, Holanda, Nova Zelândia, Noruega, Polônia, Portugal, Romênia, Rússia Federação**, Eslováquia**, Eslovênia**, Espanha, Suécia, Suíça, Turquia**, Ucrânia **, Inglaterra, Irlanda, Estados Unidos da América. | Afeganistão, Albânia**, Argélia, Angola, Antígua e Barbuda, Argentina, Arménia**, Azerbaijão, Bahamas, Bahrain, Bangladesh, Barbados, Belize, Benin, Butão, Bolívia, Bósnia e Herzegovina, Botswana, Brasil, Brunei Darussalam, Burkina Faso, Burundi, Camboja, Camarões, Cabo Verde, República da África Central, Chade, Chile, China, Colômbia, Comoros, Congo, Ilhas Cook , Costa Rica, Cuba, Chipre, Costa do Marfim, República Democrática Popular da Coreia, República Democrática do Congo, Djibouti, Dominica, República Dominicana, Equador, Egito, El Salvador, Equatorial Guiné, Eritreia, Etiópia, Fiji, Gabão, Gambia, Geórgia, Gana, Granada, Guatemala, Guiné, Guiné-Bissau, Guiana, Haiti, Honduras, Índia, Indonésia, Iran, Iraque, Israel, Jamaica, Jordânia, Cazaquistão**, Quênia, Kiribati, Kuwait, Quirguistão, Laos, Líbano, Lesoto, Libéria, Líbia, Madagascar, Malauí, Malásia, Maldivas, Mali, Ilhas Marshall, Maurítânia, Maurício, México, Micronésia, Mongólia, Montenegro, Marrocos, Moçambique, Myanmar, Namíbia, Nauru, Nepal, Nicarágua, Níger, Nigéria, Niue, Omã, Paquistão, Palau, Panamá, Papa Nova Guiné, Paraguai, Peru, Filipinas, Catar, Coreia do Sul, Moldávia**, Ruanda, São Cristóvão e Nevis, Santa Lúcia, São Vicente e Granadinas, Samoa, San Marino, São Tome e Príncipe, Arábia Saudita, Senegal, Sérvia, Seychelles, Serra Leoa , Singapura, Ilhas Salomão, Somália, África do Sul, Sri Lanka, Sudão, Suriname, Suazilândia, Líbano, Tadjiquistão, Tailândia, República da Macedónia, Timor-Leste, Togo, Tonga, Trínida e Tobago, Tunísia, Turquemenistão**, Tuvalu, Uganda, Emirados Árabes Unidos, Tanzânia, Uruguai, Uzbequistão**, Vanuatu, Venezuela, Vietnam, Iêmen, Zâmbia, Zimbabué. |

QUADRO 2.1: PAÍSES SIGNATÁRIOS DO PROTOCOLO DE QUITO.

Fonte: Elaborado pelo autor.

| País | Sigla | País | Sigla | País | Sigla | País | Sigla |
|------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|--------------------------------|------------|
| Argentina | ARG | Egito | EGY | Sri Lanka | LKA | Porto Rico | PRI |
| Austrália | AUS | Espanha | ESP | Luxemburgo | LUX | Portugal | PRT |
| Áustria | AUT | Finlândia | FIN | Marrocos | MAR | Paraguai | PRY |
| Bélgica | BEL | França | FRA | México | MEX | El Salvador | SLV |
| Bolívia | BOL | Inglaterra | GBR | Maurício | MUS | Suécia | SWE |
| Brasil | BRA | Guatemala | GTM | Nigéria | NGA | Tailândia | THA |
| Canada | CAN | Honduras | HND | Nicarágua | NIC | Trínida e Tobago | TTO |
| China | CH | Índia | IND | Holanda | NLD | Turquia | TUR |
| Suíça | CHE | Irlanda | IRL | Noruega | NOR | Taiwan | TWN |
| Chile | CHL | Islândia | ISL | Nova Zelândia | NZL | Uganda | UGA |
| Colômbia | COL | Israel | ISR | Paquistão | PAK | Uruguai | URY |
| Costa Rica | CRI | Itália | ITA | Panamá | PAN | Estados Unidos da América | USA |
| Dinamarca | DNK | Quênia | KEN | Peru | PER | Venezuela | VEN |
| Equador | ECU | Coreia do Sul | KOR | Filipinas | PHL | África do Sul | ZAF |
| | | | | | | República Democrática do Congo | ZAR |

QUADRO 2.2: PAÍSES QUE COMPÕE A AMOSTRA.

Fonte: Elaborado pelo autor.

TABELA 2.6: ESTIMATIVAS E TESTE DE MUDANÇA ESTRUTURAL DA TENDÊNCIA DE CO₂/PIB, 1950-2007.

| País | Data da quebra | Intercepto | Tendência Pré-quebra | Estatística do teste | Tendência Pós-quebra |
|------|----------------|------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| ARG | 1987 | 0,3832 | 0,0267 | 2,6605 | 0,0047 |
| AUS | 1990 | 0,2579 | 0,0213 | 2,8455 | -0,012 |
| AUT | 1971 | -0,0935 | -0,0028 | -0,1882 | -0,0156 |
| BEL | 1968 | 0,9649 | -0,0071 | 0,1669 | -0,0273 |
| BOL | 1972 | -0,5598 | 0,1029 | 10,7016 | -0,0127 |
| BRA | 1961 | -1,5297 | -0,0207 | 1,4111 | 0,033 |
| CAN | 1972 | -6,8101 | 0,1919 | 5,6195 | -0,0504 |
| CH | 1973 | -1,4316 | 0,0647 | 2,1736 | -0,0229 |
| CHE | 1977 | -0,9872 | 0,0528 | 1,1171 | 0,0143 |
| CHL | 1978 | 2,5802 | 0,0209 | 3,3723 | -0,0235 |
| COL | 1968 | 0,1826 | 0,0558 | 4,9102 | -0,0237 |
| CRI | 1961 | 1,672 | 0,1471 | -0,0853 | 0,0355 |
| DNK | 1961 | 0,6826 | 0,1484 | -0,0312 | 0,0311 |
| ECU | 1984 | 0,2007 | -0,0016 | 0,1338 | 0,0473 |
| EGY | 1982 | -3,256 | 0,0915 | -0,1424 | -0,0316 |
| ESP | 1993 | -0,626 | 0,0109 | 0,3124 | -0,0268 |
| FIN | 1974 | -4,4105 | 0,0378 | -0,1639 | 0,0214 |
| FRA | 1982 | -1,5584 | 0,0221 | 0,1668 | -0,0255 |
| GBR | 1971 | -0,5739 | 0,0243 | 1,4342 | -0,0256 |
| GTM | 1988 | -1,0736 | 0,0684 | 0,0728 | 0,0131 |
| HND | 1984 | -2,5904 | 0,0853 | 59,2936 | 0,0191 |
| IND | 1993 | 1,5212 | 0,0312 | 0,0271 | -0,0054 |
| IRL | 1979 | 0,4009 | 0,0323 | 3,9973 | -0,0162 |
| ISL | 1970 | -1,5476 | 0,0577 | 8,1582 | -0,0146 |
| ISR | 1976 | 2,3986 | -0,0068 | 0,1438 | -0,0269 |
| ITA | 1984 | 3,3015 | -0,0382 | 35,4821 | -0,0176 |
| KEN | 1961 | -1,7704 | 0,0667 | -0,0196 | 0,0359 |
| KOR | 1970 | -0,241 | 0,0607 | 9,6298 | -0,0284 |
| LKA | 1961 | -1,6113 | 0,0698 | 1,0635 | 0,0155 |
| LUX | 1971 | -5,2457 | 0,0496 | 0,1888 | 0,0161 |
| MAR | 1977 | 3,0379 | 0,0228 | -0,1089 | 0,0402 |
| MEX | 1961 | -0,2419 | -0,0051 | -0,2653 | 0,0055 |
| MUS | 1968 | -2,6931 | 0,0588 | 244,9498 | -0,0289 |
| NGA | 1998 | -0,9641 | 0,0745 | 2,6292 | -0,0499 |
| NIC | 1994 | 1,7055 | 0,0539 | 0,7168 | -0,0043 |
| NLD | 1991 | -3,3707 | 0,0157 | -0,0405 | 0,0152 |
| NOR | 1972 | -2,884 | 0,1187 | 12,3305 | 0,0327 |
| NZL | 1989 | -3,2488 | 0,0047 | -0,1354 | 0,0517 |
| PAK | 1961 | 0,9999 | 0,0337 | 0,4073 | -0,025 |
| PAN | 1962 | -0,9604 | -0,0106 | -0,1826 | 0,0313 |
| PER | 1992 | 1,0035 | 0,0524 | 0,8269 | -0,0208 |
| PHL | 1982 | -2,7844 | 0,0004 | -0,0106 | 0,0697 |
| PRI | 1978 | -1,7291 | 0,0601 | 0,1241 | 0,0012 |
| PRT | 1966 | -3,9616 | 0,0534 | 0,0077 | 0,006 |
| PRY | 1968 | 2,1007 | 0,0347 | 2,8207 | -0,0062 |
| SLV | 1982 | -0,2587 | 0,0324 | 1,1284 | -0,009 |
| SWE | 1970 | -1,4761 | -0,0058 | -0,0628 | 0,0045 |
| THA | 1969 | -2,0268 | 0,0537 | 0,6528 | -0,011 |
| TTO | 1994 | -1,0654 | 0,0146 | 0,5254 | -0,0306 |
| TUR | 1970 | -0,8454 | 0,0606 | 1,1751 | 0,0049 |
| TWN | 1963 | 0,1895 | 0,0062 | 0,3487 | -0,022 |
| UGA | 1989 | -3,7122 | 0,0974 | 1,9936 | -0,0071 |
| URY | 1966 | -4,166 | 0,0944 | 0,8299 | 0,0211 |
| USA | 1970 | -0,5585 | 0,0365 | 4,9508 | -0,0374 |
| VEN | 1997 | -3,1095 | 0,1034 | 1,3279 | 0,0218 |
| ZAF | 1985 | -1,8931 | 0,0477 | 1,8875 | 0,0198 |
| ZAR | 1984 | 1,1253 | 0,067 | -0,0152 | 0,1033 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

ANÁLISE DE CONVERGÊNCIA DE EMISSÃO DE CO₂PC E DE PIBPC

1. INTRODUÇÃO

Diante das mudanças das condições climáticas observadas em proporções globais, a hipótese de que estas variações e fenômenos como o efeito estufa, a redução da camada de ozônio, entre outros são influenciados pela atividade humana, principalmente, pelo crescimento econômico, ganhou destaque seja em trabalhos científicos, ou na mídia de uma forma generalizada.

O cenário atual divulgado pela ciência ⁴⁶ aflige o presente, ameaça o futuro e gera questionamentos sobre a hipótese de que as nações poderiam prosperar sem limites desconsiderando as restrições ambientais. Neste contexto, várias políticas foram sugeridas com o objetivo de tornar o aumento da produção global de bens e serviços sustentável do ponto de vista ambiental.

Uma dessas alternativas considerada no debate internacional sobre preservação do meio ambiente refere-se à hipótese de crescimento econômico zero. Todavia, países que ainda não alcançaram o padrão de riqueza dos países desenvolvidos pretendem usufruir das benesses do crescimento, enquanto que os países desenvolvidos desejam manter, na medida do possível, o padrão de consumo de suas respectivas sociedades. Desta forma, as alternativas discutidas com maior intensidade remetem ao uso de restrições e regulamentações da atividade econômica que permitam a coexistência de crescimento e sustentabilidade ambiental no longo prazo.

Aímola (2008) sugere três visões sobre o problema das mudanças climáticas, sendo duas extremas e outra intermediária. Primeiro, a redução dos gases que causam o efeito estufa (GEE) deve ocorrer de maneira conjunta e coordenada entre todas as nações por meio de acordos internacionais amplos e com metas ambiciosas (reduzir em pelo menos 50%) das emissões globais até 2050. No outro extremo, sugere-se investir em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) para aumentar a eficiência das tecnologias já existentes, bem como novas tecnologias de controle de emissão. Essas medidas podem ocorrer mediante parcerias de desenvolvimento e transferências de tecnologias em acordos bilaterais ou multilaterais entre as nações.

⁴⁶ Para maiores detalhes sobre os cenários ver: *Intergovernmental Panel on Climate Change* (2000, 2001, 2003), doravante IPCC (2000, 2001, 2003), Stern (2006), Nakicenovic et al (2003), Schmalensee, Stiker e Judson (1998), Webster et al (2002) e Leggett, Pepper e Swart (1992).

A visão intermediária contempla a redução significativa das emissões de GEE dos países desenvolvidos durante as próximas décadas, em conjunto com ajuda aos países em desenvolvimento a se protegerem das mudanças climáticas que ocorrerão, os quais também devem apresentar reduções de suas emissões.

Nesse sentido, um provável instrumento de política consiste na regulamentação da emissão de dióxido de carbono, CO_2 ,⁴⁷ por meio do mercado internacional de crédito de carbono, o qual foi apresentado explicitamente na Convenção das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas no Rio de Janeiro em 1992 (Beckerman e Pasek, 1995). Entretanto, como a alocação de direitos de emissão de CO_2 possui efeitos diferenciados sobre o uso da terra, da energia, da produção e do meio ambiente de cada país, espera-se que o consenso internacional a cerca do engajamento das diversas economias e das quantidades de cotas de direito a emissão neste tipo de programa, envolva uma série de discussões e diferentes ações por estes países.

Por exemplo, até o presente há uma forte rejeição por parte dos Estados Unidos da América (EUA) em adotar medidas estabelecidas inicialmente no Protocolo de Quioto⁴⁸ (PQ), e nos fóruns mundiais sobre meio ambiente que o ratificam e buscam avançar nas discussões sobre essa temática. Segundo Hilgemberg e Guilhoto (2006) os EUA argumentam que o PQ é ineficaz quanto às mudanças climáticas ao excluir a maior parte do mundo.

Neste contexto, um ponto levantado pelos EUA condiciona a redução de emissão de países industrializados à redução de países em desenvolvimento como China e Índia, em virtude da tendência observada no consumo de energia e nos níveis de emissões desses países em se igualar ou até mesmo ultrapassar os praticados nos países desenvolvidos (Romero-Ávila, 2008).

Vale ressaltar o fato de que o PQ estabelece controle de emissão somente para os países industrializados; isto é, para os países em desenvolvimento não existe cota e, portanto, estes não possuem obrigação de abater suas emissões. Além do mais, como o PQ expira em

⁴⁷ Os cientistas advogam que a emissão de CO_2 é o principal componente dos GEE que causam o aquecimento global. Por isso, recomenda-se utilizá-lo como instrumento de política para mitigar os efeitos das mudanças climáticas.

⁴⁸ O PQ surgiu na terceira Conferência das Partes, realizada em 1997, tendo o compromisso de 39 países desenvolvidos a reduzirem, no período entre 2008 e 2012, suas emissões de *GEE* para que elas se tornem, em média, 5,2% inferiores aos níveis de emissão observados em 1990. Todavia, para que se transforme em lei e comece a produzir seus efeitos, o protocolo deve ser aceito por 55 países que representem pelo menos 55% das emissões de *GEE*. Diante disso, a meta é reduzir, ou ao menos, estabilizar a concentração desses gases.

2012 é preciso estabelecer uma nova política para mensurar o controle dos gases que causam o efeito estufa, bem como um mecanismo para incentivar os países a reverter a atual tendência sobre a emissão de poluentes.

Como relatado em Aldy (2005), alguns políticos sugeriram regras explícitas para a atribuição de direitos de emissão ou obrigações que incentive a participação dos países em desenvolvimento. Todavia, em um regime de emissões *per capita*, por exemplo, a quantidade total de emissões de GEE seria definida entre todos os países (participantes) de acordo com a população.

Lanne e Liski (2003) levantaram a hipótese de que os primeiros países industrializados tiveram três fases⁴⁹ sobre a evolução da emissão, então, dever-se-ia pensar em um sistema de cota que levasse em conta o histórico do país. Este sistema pode ser entendido como uma solução de médio e longo prazo, por isso, no curto prazo é preciso estabilizar (controlar) as emissões a partir do consumo de energia, principalmente, dos combustíveis fósseis. Em uma etapa posterior, eles sugerem a criação de um mecanismo de proteção ambiental global visando reduzir as emissões de poluentes.

Entretanto, para a implementação de um sistema de cota de emissão *per capita* deve-se responder uma série de questionamentos, dentre as quais destacam-se: i) Quais são os países com maiores níveis de emissão CO_2pc na atmosfera atualmente? ii) Quem mais emite poluentes no mundo são, realmente, os países mais ricos? Ou são os mais pobres? Ou os países em desenvolvimento? iii) As emissões em questão apresentam um nível de longo prazo similar? Há clubes de convergência nos quais as emissões de países mais ricos convergem de forma diferenciada dos países em desenvolvimento? Ou há países em desenvolvimento convergindo para o mesmo nível de emissão dos observados nos países desenvolvidos?

Apesar disso, ainda não há um estudo que apresente evidências empíricas que respondam simultaneamente as questões apresentadas no parágrafo anterior. Todavia, existem discussões sobre possíveis vias para um regime de emissões após Quioto, dentre as quais destaca-se Aímola (2008) com a sugestão de ampliar o número de países com metas

⁴⁹A primeira fase decorre do rápido crescimento das emissões *per capita*, fortemente influenciadas pela utilização do carvão. A segunda é caracterizada por um crescimento menor, em função da mudança de combustíveis sólidos para o não-sólido (a partir do carvão para petróleo e gás). A terceira acontece como consequência dos choques do preço do petróleo durante a década de 1970, que mudou permanentemente a estrutura das emissões de combustíveis fósseis.

obrigatórias de reduções de emissão de GEE, tendo como foco a inclusão dos EUA e dos principais países que em desenvolvimento (China, Índia, Brasil, África do Sul e México).

Diferente deste e outros estudos, o objetivo principal desta pesquisa consiste em aplicar uma metodologia econométrica que forneça essas respostas, contribuindo com evidências empíricas para o debate em questão. Primeiramente testa-se a hipótese de convergência na emissão de CO_2pc entre 135 países, considerando a possibilidade de formação de clubes de convergência. Segundo Sek (2010) a convergência de emissão de CO_2pc pode ser representada com uma medida de sustentabilidade. Em seguida, testa-se a hipótese de convergência de renda *per capita*.

Os resultados permitem identificar quais países compõem os clubes com maiores e menores níveis de emissão de CO_2pc e renda *per capita*. Assim é possível verificar se há países em desenvolvimento convergindo para o mesmo nível de poluição dos observados nos países desenvolvidos.

Como a hipótese de convergência ambiental (emissão de CO_2pc) está relacionada a hipótese de convergência econômica⁵⁰, verificar-se-ão se a formação dos clubes de convergência na emissão de CO_2pc equivale aos clubes para a convergência de renda *per capita*. E caso exista convergência, Romero-Ávila (2008) advoga que isto garantirá a alocação de emissão *per capita* sem a necessidade de transferências de recursos substanciais por meio do comércio internacional e dos movimentos de indústria inter-fronteiras.

A estrutura do trabalho consiste em cinco seções, incluindo esta introdução. A segunda seção se dedica a apresentação das evidências empíricas sobre a convergência (e não convergência) na emissão de poluentes. A seguir, é feita a descrição da base de dados acompanhada de análise descritiva. A quarta seção versa sobre o modelo teórico, com esteio na literatura sobre crescimento econômico e, ainda, descreve o tratamento metodológico diferenciado proposto neste capítulo, ressaltando ainda as características particulares da análise com dados em painel dinâmico não linear. A análise e discussão dos resultados, bem como a proposição de políticas são contempladas na quinta seção. E, por fim, são tecidas as considerações finais deste capítulo.

⁵⁰ Alguns estudos advogam sobre a existência de causalidade entre emissão de CO_2 e crescimento econômico.

2. EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS SOBRE CONVERGÊNCIA OU DIVERGÊNCIA AMBIENTAL

Segundo Oliveira Jr et al (2009) a hipótese da convergência pode assumir três formas distintas: i) a hipótese da Convergência Absoluta – onde as emissões *per capita* dos países convergiriam entre si no longo prazo, independentemente de suas condições iniciais; ii) a hipótese da Convergência Condicional – onde as emissões *per capita* dos países convergiriam em longo prazo entre os países de características estruturais idênticas, independentemente de suas condições iniciais; iii) a hipótese de Clubes de Convergência – onde haveria a formação de grupos de países com as mesmas características estruturais e cada grupo teria um padrão próprio de crescimento.

Nestes termos, as evidências empíricas sobre convergência (e divergência) entre países e/ou regiões sobre emissão de CO_2pc são mensuradas por 4 medidas bastante comuns na literatura sobre crescimento econômico, conhecidas como σ – convergência [Barro e Sala-i-Martin (2004)], β – convergência, convergência estocástica [Carlino e Mills (1993), Bernard e Durlauf (1995), Evans (1998) e Pesaran (2007)], e distribuição dinâmica [Quah (1993, 1997)].⁵¹

No entanto, ainda não existe consenso sobre a convergência de emissão de CO_2pc , uma vez que os resultados fornecidos por Stegman (2005), Aldy (2006; 2007), Arraes et al (2006) e Lee e Chang (2008) não encontram evidências de convergência. Por outro lado, Strazicich e List (2003), McKibbin e Stegman (2005), Aldy (2006a), Ezcurra (2007), Westerlund e Basher (2007), Panopoulou e Pantelidis (2007) e Romero-Ávila (2008) encontram convergência na emissão de CO_2pc .

Arraes et al (2006) testaram a hipótese de convergência dos indicadores de desenvolvimento entre os países, com base no teste de β – convergência e encontraram evidências de não convergência para os indicadores saneamento, água potável e emissões de CO_2 .

A partir de uma análise de β – convergência para 100 países durante o período de 1966 a 1996, Nguyen Van (2005) encontrou uma relação negativa e significativa entre os níveis de poluição. Além disso, Nguyen Van (2005) analisou a convergência estocástica para

⁵¹ Para maiores detalhes sobre as medidas de convergência ver Penna (2011) – *Formação de Clubes de Convergência no Brasil: uma abordagem do processo de convergência com enfoque em modelos não lineares.*

um painel mundial, por meio da abordagem de painel dinâmico desenvolvida por Arellano e Bond (1991) e a relação do log de CO_2pc tomadas a cada 5 anos, bem como períodos de 10 anos para cada país. No entanto, os resultados sugerem que convergência estocástica é aceita somente para os dados com apenas 5 anos.

Brock e Taylor (2010) utilizaram-se do modelo de Solow com variáveis ambientais, considerando os países da OCDE no período 1960-1998 para testarem convergência absoluta e condicional, e os resultados indicam que a maioria do poder explicativo vem do nível inicial de poluição, que exibe um efeito negativo significativo.

Ao explorarem a experiência histórica de uma série de variáveis relacionadas à mudança climática para examinar se existe qualquer evidência histórica da convergência, McKibbin e Stegman (2005) focaram nas emissões *per capita* de carbono a partir de combustíveis fósseis e constataram que existem fortes indícios de que a ampla variedade de hipóteses sobre a "convergência", comumente utilizados em projeções de emissões não se baseiam em fenômenos empiricamente observados.

Stegman (2005), Aldy (2006, 2007), Romero-Ávila (2008) e Sek (2010) se basearam em medidas de convergência estocásticas para testar a hipótese de convergência na emissão CO_2pc . Enquanto que o primeiro trabalho encontrou pouca evidência de que as taxas de emissões *per capita* entre países estão convergindo em um sentido absoluto, o estudo de Aldy apresenta dois resultados, não convergência para uma amostra de 88 países e convergência para a amostra composta por 23 países membros da OECD ao longo dos anos de 1960 a 2000. Já Aldy (2007) argumenta que existe claramente divergência na produção de CO_2pc e não há evidência de convergência para o consumo de CO_2pc .

Por outro lado, Romero-Ávila (2008) ao aplicar a metodologia desenvolvida por Carrion-i-Silvestre et al (2005) que permite uma função de tendência bastante flexível por incorporar um número desconhecido de mudanças estruturais, encontram fortes evidências de convergência estocástica e determinística para as emissões de CO_2pc .

Já Lanne e Liski (2004) testaram a convergência de CO_2 entre 15 países desenvolvidos entre 1870 e 1998, permitindo a possibilidade de quebras estruturais. Os resultados apontam para não convergência das emissões de CO_2pc após o choque no preço do petróleo na década

de 1970 e, ainda, que quebras estruturais não podem explicar a tendência de queda nas emissões de CO₂.

Ao analisar a distribuição espacial das emissões *per capita* de dióxido de carbono em 87 países durante o período 1960-1999, Ezcurra (2007) utilizou uma abordagem não paramétrica que permite estudar a dinâmica da distribuição por países. Como seus resultados evidenciam que as disparidades nas emissões *per capita* entre os países diminuíram, pode-se dizer que existe convergência na emissão de CO₂*pc*. Além disso, o autor também investigou em que medida as diferenças espaciais nas emissões *per capita* pode ser explicado por fatores como renda *per capita*, o grau de abertura comercial ou condições climáticas.

Entre os estudos que empregaram testes de raiz unitária para painel, destacam-se os trabalhos de Strazicich e List (2003), Westerlund e Basher (2008) e Lee e Chang (2008). Os primeiros examinaram a convergência CO₂ empregando o teste de Im, Pesaran e Shin (2003) e considerando uma amostra de 21 países industrializados durante o período de 1960-1997, encontraram evidências de convergência da emissão de CO₂*pc*.

Westerlund e Basher (2008) utilizaram três testes que permitem dependência entre os países, enquanto Lee e Chang (2008) aplicaram o teste desenvolvido por Dickey-Fuller, conhecido como SURADF. Em relação à hipótese de convergência, mais uma vez, não existe consenso, haja vista que os resultados de Westerlund e Basher (2008) favorecem a hipótese de convergência para o painel como um todo, enquanto Lee e Chang (2008) encontram um processo de divergência nas emissões CO₂*pc* nos países da OCDE.

Barrasi et al. (2008) desenvolve um estudo com foco em 21 países da OCDE usados por Strazicich e List (2003) e, ainda, investigaram as características individuais – tendência e intercepto – dos países durante o período 1950-2002. Os resultados apotam divergência de poluição para os membros da OCDE.

Panopoulou e Pantelidis (2010) examinaram a convergência nas emissões de dióxido de carbono para 128 países considerando o período 1960-2003, por meio da metodologia introduzida por Phillips e Sul (2007a) e reportaram os seguintes resultados: i) convergência em emissões de CO₂*pc* entre todos os países em análise nos primeiros anos da amostra; ii) dois clubes de convergência em período recente que convergem para diferentes estados estacionários; iii) evidências de transição entre os dois clubes de convergência, sugerindo uma

convergência lenta entre os dois clubes ou uma tendência de alguns países para se deslocar de um clube de convergência para o outro.

O presente trabalho pretende contribuir com novas evidências empíricas sobre essa questão ao utilizar metodologia de Phillips e Sul (2007), assim como Panopoulou e Pantelidis (2007). No entanto, difere no tocante a amostra (135 países) e ao período (1970 a 2007). Além disso, a abordagem aqui empregada tem por finalidade comparar se os clubes de convergência de CO_2pc , coincidem, com os clubes de convergência de renda *per capita*. Haja vista a necessidade de discutir um novo sistema de cotas de emissão em 2012, após o PQ, que deve levar em consideração o estágio de desenvolvimento do país e o seu nível de emissão.

3. BASE DE DADOS

3.1 FONTES E DESCRIÇÃO DOS DADOS

Este trabalho utiliza informações anuais para 135 países entre os anos de 1970 a 2007, fornecendo a estrutura de um painel balanceado com 5.130 observações. O Quadro 3.1, reporta os países excluídos por falta de informações, seja pela emissão de CO_2pc ou pelo $PIBpc$. Assim como fizeram Mackitrick e Strazicich (2005), optou-se por excluir Alemanha e Rússia da amostra devido à unificação e separação, respectivamente; no entanto, é importante ressaltar que todos os países estão incluídos na média de emissão global.

| | | |
|--------------------------|----------------|------------------------|
| Alemanha | Guadeloupe | Paquistão |
| Bangladesh | Ilhas Malvinas | Porto Rico |
| Butão | Jamaica | Catar |
| Botswana | Kuwait | Rússia |
| Ilhas Virgens Britânicas | Líbia | Santa Helena |
| Ilhas Cayman | Libyan | Arábia Saudita |
| Ilhas Cook | Malásia | St. Pierre. |
| CzechoEslováquia | Maldivas | Tanzânia |
| Dominica | Martinica | Emirados Árabes Unidos |
| Ilhas Feroe | Montserrat | Vietnam |
| Guiana Francesa | Myanmar | Saara Ocidental |
| Polinésia Francesa | Nauru | Iêmen |
| Gibraltar | Nepal | |
| Greenland | Nova Caledónia | |

QUADRO 3.1: PAÍSES EXCLUÍDOS DA AMOSTRA POR FALTA DE INFORMAÇÕES.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados utilizados foram obtidos a partir do *Carbon Dioxide Information Analysis Center* (CDIAC) elaborado por Boden, Marland e Andres (2011) e da *Penn World Table*, PWT 7.0, elaborada por Heston, Summers e Aten do Centro de Comparações Internacionais de Produção, Renda e Preços da Universidade da Pensilvânia nos Estados Unidos.

Do CDIAC são extraídas as emissões de CO_2 , as quais são aferidas a partir da queima de combustíveis fósseis, da fabricação de cimento e da queima de gás.⁵² Além disso, ela está mensurada em milhares de toneladas métricas de carbono, no entanto, são convertidas em unidades de dióxido de carbono. Para o cálculo das emissões *per capita*, utiliza-se informações sobre a população disponibilizada na PWT 7.0.

⁵² As emissões consideradas neste ensaio não contemplam as emissões decorrentes do uso do solo, entretanto, atualmente, um dos focos da discussão do novo Protocolo de Quioto contempla as emissões a partir do uso da terra e o desflorestamento. No entanto, vale destacar que a escolha pelos dados do CDIAC deriva da disponibilidade de dados e também por estes serem utilizados pela literatura especializada. Entretanto, é bom destacar que estes são subestimados por não incluir as emissões derivadas do uso do solo.

Assim como as informações de população, o PIB *per capita*, *PIBpc*, é extraído da PWT 7.0 e seus valores são expressos com base na Paridade do Poder de Compra (PPC), a valores de 2005.

3.2 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS

A análise dos dados contempla as estatísticas descritivas das emissões de *CO₂pc* e do *PIBpc*. A partir da Tabela 3.1 pode-se observar que a emissão média durante estes 38 anos foi de 3,61 toneladas por habitante, enquanto a renda *per capita* foi de US\$ 9.235,94 a valores de 2005. Por outro lado, observa-se uma dispersão da emissão foi de 5,92 toneladas por habitante, enquanto o *PIBpc* foi de U\$ 11.297,34.

A Tabela 3.1 reporta também os quartis de renda e emissão *per capita*. Os quartis permitem uma pré-visualização de potenciais clubes de convergência entre emissão e renda na amostra. Para isso, optou-se por agrupar os países por quartil, considerando a emissão média e o *PIBpc* médio dos últimos 10 anos.⁵³

TABELA 3.1: ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS VARIÁVEIS

| Variáveis | Média | Desvio Padrão | Quartil | | | |
|-------------------------|----------|---------------|----------|----------|-----------|------------|
| | | | 1° | 2° | 3° | 4° |
| <i>CO₂pc</i> | 3,61 | 5,92 | 0,27 | 1,17 | 5,21 | 102,32 |
| <i>PIBpc</i> * | 9.235,94 | 11.297,34 | 1.458,40 | 4.639,59 | 13.099,48 | 112.914,50 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota: * são expressos com base na Paridade do Poder de Compra (PPC), a valores de 2005.

De acordo com a Quadro 3.2, os países com baixa emissão de *CO₂pc* também possuem baixo nível de renda *per capita*, assim como existe uma certa uniformidade entre os países que compõe o quarto quartil de emissão e de renda *per capita*. Em outras palavras, há indícios de que os países com baixos níveis de emissão são os que possuem os menores níveis de renda, o que corrobora com o PQ.

Verifica-se que Brasil, China, Índia e México pertencerem ao segundo e terceiro quartil das emissões de *CO₂pc*,⁵⁴ corroborando as observações feitas por Aímola (2008) de que estes países também deveriam ter obrigações de abater suas emissões de gases com efeito

⁵³ Vale ressaltar que este exercício tem por finalidade ilustrar a formação de clubes de emissão de *CO₂pc* e *PIBpc*, bem como realizar comparações entre estes clubes. No entanto, é importante destacar que esta análise não tem validade estatística.

⁵⁴ No entanto, é bom ressaltar que estes níveis de emissão estão subestimados, por não incluir as emissões derivadas do uso do solo como desmatamento, agricultura e agropecuária. Sendo assim, é bem provável que estes países estejam entre os maiores emissores de *CO₂*.

estufa. Vale ressaltar que, o autor também inclui a África do Sul neste grupo, entretanto de acordo com as descritivas estatísticas baseadas em uma amostra mais atual, esta economia já figura entre os países com maiores níveis de emissão (Quartil 4).

Com base nestas evidências, espera-se que as estimativas dos clubes de convergência de emissão de CO_2pc e de $PIBpc$ se confirme, isto é, espera-se que haja uniformidade na formação dos clubes de convergência de poluição baseado no crescimento da renda. Diante dessa expectativa, a próxima seção contempla o modelo teórico e a metodologia econométrica a serem empregadas neste trabalho.

| 1° Quartil | | 2° Quartil | | 3° Quartil | | 4° Quartil | |
|------------|---------|------------|---------|------------|---------|------------|---------|
| CO_2pc | $PIBpc$ | CO_2pc | $PIBpc$ | CO_2pc | $PIBpc$ | CO_2pc | $PIBpc$ |
| AFG | AFG | AGO | AGO | ALB | ARG | AUS | ATG |
| BDI | BDI | BLZ | ALB | ARG | BGR | AUT | AUS |
| BEN | BEN | BOL | BOL | ATG | BLZ | BEL | AUT |
| BFA | BFA | BRA | CHN | BRB | BRA | BGR | BEL |
| CAF | CAF | CIV | CMR | CHL | CHL | BHR | BHR |
| CMR | CIV | CRI | COG | CHN | COL | BHS | BHS |
| COG | COM | DJI | CPV | COL | CRI | BMU | BMU |
| COM | ETH | DOM | DJI | CUB | CUB | BRN | BRB |
| CPV | GHA | EGY | EGY | CYP | DOM | CAN | BRN |
| ETH | GIN | FJI | FJI | DZA | DZA | CHE | CAN |
| GHA | GMB | GRD | GUY | ECU | ECU | DNK | CHE |
| GIN | GNB | GTM | HND | ESP | GAB | FIN | CYP |
| GMB | HTI | HND | IDN | GAB | GNQ | FRA | DNK |
| GNB | KEN | IDN | IND | GUY | GRD | GBR | ESP |
| GNQ | KHM | IND | IRQ | HKG | GTM | GRC | FIN |
| HTI | LBR | MAR | JOR | IRN | IRN | HUN | FRA |
| KEN | MDG | MRT | KIR | IRQ | LBN | IRL | GBR |
| KHM | MLI | MUS | LAO | ISR | MEX | ISL | GRC |
| KIR | MOZ | NGA | LKA | JOR | MUS | ITA | HKG |
| LAO | MRT | NIC | MAR | KOR | PAN | JPN | HUN |
| LBR | MWI | PAN | MNG | LBN | PER | LUX | IRL |
| LKA | NER | PER | NGA | MAC | POL | NLD | ISL |
| MDG | RWA | PHL | NIC | MEX | ROM | NOR | ISR |
| MLI | SEN | PNG | PHL | MLT | SLV | NZL | ITA |
| MOZ | SLB | PRY | PNG | MNG | SUR | POL | JPN |
| MWI | SLE | SEN | PRY | OMN | THA | ROM | KOR |
| NER | STP | SLB | SDN | PRT | TON | SGP | LUX |
| RWA | TCD | SLV | SYR | SUR | TUN | SWE | MAC |
| SDN | TGO | STP | | SYC | TUR | TTO | MLT |
| SLE | UGA | THA | | SYR | URY | USA | NLD |
| TCD | ZAR | TON | | TUN | VCT | ZAF | NOR |
| TGO | ZMB | VCT | | TUR | VEN | | NZL |
| UGA | | VUT | | TWN | VUT | | OMN |
| ZAR | | WSM | | URY | WSM | | PRT |
| ZMB | | | | VEN | ZAF | | SGP |
| | | | | | | | SWE |
| | | | | | | | SYC |
| | | | | | | | TTO |
| | | | | | | | TWN |
| | | | | | | | USA |

QUADRO 3.2: QUARTIS DA EMISSÃO DE CO_2 E RENDA PER CAPITA, CONSIDERANDO A MÉDIA ENTRE 1998 E 2007.

Fonte: Elaborado pelo autor.

4. METODOLOGIA ECONOMÉTRICA⁵⁵

Seja X_{it} um painel de dados, que pode ser a emissão de CO_2pc e a renda *per capita*, onde $i = 1, \dots, N$ e $t = 1, \dots, T$ denotam, respectivamente, os países e o tempo. Usualmente, X_{it} é decomposto em dois componentes, um sistemático, a_{it} , e um transitório, g_{it} , ou seja,

$$(1) \quad X_{it} = a_{it} + g_{it}$$

A estratégia empírica adotada por Phillips e Sul (2007) consiste em modelar o painel de dados, tal que, os componentes comuns e idiossincráticos sejam distinguidos da seguinte maneira:

$$(2) \quad X_{i,t} = a_{i,t} + g_{i,t}t = \left(\frac{a_{i,t} + g_{i,t}t}{\mu_t} \right) \mu_t = b_{i,t} \mu_t$$

Sendo μ_t o componente que determina a trajetória de longo prazo - trajetória comum de crescimento da emissão de CO_2pc - e $b_{i,t}$ o elemento idiossincrático que varia no tempo e, ainda, é capaz de aferir os efeitos individuais de transição. Assim sendo, pode-se utilizar $b_{i,t}$ como a trajetória de transição individual do país i , dado o seu deslocamento em torno da trajetória comum, μ_t .

Nestes termos, é possível testar convergência de longo prazo (quando $t \rightarrow \infty$) sempre que não tenha heterogeneidade não observada, ou seja, sempre que $g_{i,t} \rightarrow g_i$. Para que seja plausível realizar inferências sobre o comportamento de $b_{i,t}$ é necessário impor uma restrição em sua dinâmica, uma vez que o número de parâmetros desconhecidos em $b_{i,t}$ é igual ao número de observações. Uma boa alternativa então consiste em modelar os elementos de transição, $b_{i,t}$ a partir da construção de um coeficiente de transição relativo, $h_{i,t}$, definido como:

$$(3) \quad h_{i,t} = \frac{\hat{x}_{i,t}}{N^{-1} \sum_{i=1}^N \hat{x}_{i,t}} = \frac{b_{i,t}}{N^{-1} \sum_{i=1}^N b_{i,t}}$$

⁵⁵ Esta seção é adaptada dos textos Penna e Linhares (2009) e de Monteiro, Penna e Castelar (2010).

Neste caso, $\hat{x}_{i,t}$ representa a emissão de CO_2pc sem o componente cíclico.⁵⁶ Deste modo, as curvas traçadas por $h_{i,t}$ definem uma trajetória de transição relativa e, ao mesmo tempo, mensuram o quanto a emissão de CO_2pc do país i se desloca em relação à trajetória de crescimento comum, μ_t . Assim, $h_{i,t}$ pode diferir entre as i economias no curto prazo, no entanto, admite-se convergência no longo prazo sempre que $h_{i,t} \rightarrow 1$ para todo i quando $t \rightarrow \infty$. Além disso, é importante ressaltar que, caso isso ocorra, no longo prazo a variância *cross-section* de $h_{i,t}$ converge para zero, como descrito por (4).

$$(4) \quad \sigma_t^2 = N^{-1} \sum_{i=1}^N (h_{i,t} - 1)^2 \rightarrow 0 \text{ quando } t \rightarrow \infty.$$

Com base nesta modelagem, Phillips e Sul (2007) desenvolveram uma análise de convergência baseada no que denominaram teste $\log t$. O qual reporta uma forma semi-paramétrica de modelar os coeficientes de transição assumindo que os mesmos são representados por tendências estocásticas lineares e, ainda, permite que haja heterogeneidade entre economias ao longo do tempo, como descrito por:

$$(5) \quad b_{i,t} = b_i + \frac{\sigma_i \xi_{i,t}}{L(t)t^\alpha}$$

Em (5) $L(t)$ é uma função *slowly varying* (SV), crescente e divergente no infinito; $\xi_{i,t} \sim i.i.d(0,1)$, α governa a taxa de queda da variação nas unidades transversais ao longo do tempo e, $\sigma_i > 0$ e $t \geq 1$, $\forall i$. Note que, $L(t) \rightarrow \infty$ quando $t \rightarrow \infty$, então essa formulação assegura que $b_{i,t} \rightarrow b_i$ para todo $\alpha \geq 0$; ou seja, sempre haverá convergência se $b_{i,t} \rightarrow b_i$ para todo $\alpha \geq 0$ e divergência caso contrário. Com efeito, têm-se duas condições para convergência do modelo:

$$i) \lim_{k \rightarrow \infty} b_{i,t+k} = b \Leftrightarrow b_i = b \text{ e } \alpha \geq 0 \quad e$$

⁵⁶ Segundo Monteiro, Penna e Castelar (2010), na prática, a variável utilizada é descrita como $\log y_{i,t} = b_{i,t} \cdot \mu_t + \kappa_{i,t}$. Sendo $\kappa_{i,t}$ o efeito de ciclo de negócios. Além disso, a remoção do componente de ciclos é realizada por meio do filtro de Whittaker-Hodrick-Prescott (WHP), a qual não requer nenhuma especificação *a priori* para μ_t e, ainda, utiliza-se de um único parâmetro de *smooth* como *input*.

$$\text{ii) } \lim_{k \rightarrow \infty} b_{i,t+k} \neq b \Leftrightarrow b_i \neq b \text{ ou } \alpha < 0 ,$$

Ou seja, é possível estabelecer um teste da hipótese nula de convergência contra hipóteses alternativas de não convergência, com base nas seguintes hipóteses:

$$(6) \quad \begin{array}{l} \text{Hipótesenula } H_0 : b_i = b \ \& \ \alpha \geq 0 \\ \text{Hipóteses alternativas } \begin{cases} H_{A1} : b_i = b, \forall i \ \& \ \alpha < 0 \\ H_{A2} : b_i \neq b, \text{ para algum } i \ \& \ \alpha \geq 0 \text{ ou } \alpha < 0 \end{cases} \end{array}$$

Esta abordagem também permite testar a formação de clubes de convergência como, por exemplo, existindo dois clubes $\{G_1, G_2\}$; $G_1 + G_2 = N$, então, a hipótese alternativa pode ser descrita da seguinte maneira:

$$(6') \quad H_A : b_{it} \rightarrow \begin{cases} b_1 \text{ e } \alpha \geq 0 \text{ se } i \in G_1 \\ b_2 \text{ e } \alpha \geq 0 \text{ se } i \in G_2 \end{cases}$$

A regressão para se testar (6) supondo $L(t) = \log t$ é baseada na seguinte regressão:

$$(7) \quad \log \frac{H_1}{H_t} - 2 \log [L(t)] = \beta_0 + \beta_1 \log t + u_t \quad \text{para } t = T_0, \dots, T ,$$

onde H_1/H_t representa a relação de variância *cross-section* encontrada a partir de $H_t = N^{-1} \sum_{i=1}^N (h_{it} - 1)^2$ e $h_{it} = \hat{w}_{it} / N^{-1} \sum_{i=1}^N \hat{w}_{it}$.

Os coeficientes de (11) podem ser testados com base num teste t unilateral, robusto a autocorrelação e heterocedasticidade. Para um nível de 5%, por exemplo, a hipótese nula de convergência deve ser rejeitada se $t_{\hat{\beta}_1} < -1,65^{57}$. A rejeição da hipótese nula de convergência para todo o painel pode estar indicando a existência de pontos separados de equilíbrio ou múltiplos estados estacionários. E, caso isso ocorra, pode-se dizer que alguns países estão divergindo, no entanto, pode-se ter a formação de clubes de convergência.

⁵⁷ A equação (7) pode ser estimada após descartar uma fração amostral, que mediante simulações de Monte Carlo, Phillips e Sul (2007) sugerem que (7) deva ser regredida após se excluir, aproximadamente, um terço das observações iniciais.

Diante disso, para aferir a formação de clubes de convergência é preciso que Neste contexto, um algoritmo que aplique sequencialmente o teste $\log t$ permite a identificação de clubes de convergência sem que se recorra às usuais características observáveis que condicionem o devido agrupamento deste clube, ou seja, a seleção dos países para a formação dos clubes é feita de maneira endógena.

De uma maneira geral, pode-se sintetizar o procedimento em quatro passos, como descrito por Penna e Linhares (2009):

- i) Ordenam-se as emissões *per capita* de acordo com o período final;
- ii) Selecionam-se as k primeiras economias com as maiores emissões *per capita*, formando um sub-grupo G_k para algum $2 \leq k < N$. Estima-se a regressão $\log t$ e calcula-se a estatística de convergência $t_k = t(G_k)$ para este sub-grupo. Seleciona-se um grupo formado por k^* economias, tal que, t_k seja maximizado sobre k de acordo com a condição: $k^* = \arg \max_k \{t_k\}$ sujeito a $\min \{t_k\} > -1,65$.⁵⁸ Se a condição $\min \{t_k\} > -1,65$ não for válida para $k = 2$, então a economia com a maior emissão *per capita* é excluída da amostra e um novo sub-grupo, $G_{2j} = \{2, \dots, j\}$ para $3 \leq j < N$, é formado. Repete de maneira recursiva este passo, de tal maneira a formar a estatística $t_j = t(G_{2j})$. Se a condição $\min \{t_k\} > -1,65$ não for válida para todos os pares sequenciais de emissão, conclui-se que o painel não apresenta clubes de convergência;
- iii) Adiciona-se uma economia por vez ao grupo primário com k^* membros e estima-se a regressão $\log t$ novamente; sempre se inclui uma nova economia ao clube de convergência se a estatística t for maior do que o critério de fixação, c^* . Como o T empregado neste exercício consiste em 38 – 1970 a 2007 – optou-se por fixar, $c^* = 0$, de tal modo a assegurar uma seleção conservadora.⁵⁹ Posteriormente, repete-se esse procedimento para todas as economias remanescentes e forma-se o primeiro sub-grupo de convergência a partir do grupo primário G_{k^*} suplementado pelas economias que atendem ao critério de fixação; e,

⁵⁸ A condição $\min \{t_k\} > -1,65$ retrata o nível de significância da análise, 5%.

⁵⁹ No caso de T grande, c^* pode ir assintoticamente para o valor crítico -1,65 ao nível de 5%.

- iv) Forma-se um segundo grupo com as economias cuja regra de fixação falha no passo 3; estima-se a regressão $\log t$ e se verifica se $t_{\hat{\beta}} > -1,65$, que retrata o nível de significância do teste para a convergência. Se esta condição for atendida conclui-se que existem dois grupos de convergência distintos: o primeiro grupo, G_{k^*} , e o segundo grupo. De modo contrário, se a condição não for atendida, repete-se do passo 1 ao passo 3 para verificar se este segundo grupo pode ser subdividido em um número maior de clubes de convergência. Não existindo um conjunto composto por $k \geq 2$ economias no passo 2 com $t_k > -1,65$, conclui-se que as economias remanescentes não podem ser subdivididas em subgrupos e, portanto, não convergem para um patamar comum.

5. CLUBES DE CONVERGÊNCIA: EMISSÃO DE CO₂PC E RENDA PER CAPITA

O primeiro passo do procedimento empírico consiste em testar a hipótese nula de convergência global *vis-à-vis* a hipótese alternativa de um modelo com efeito *threshold*. Caso se rejeite H₀, existem evidências de que o processo de convergência ocorrerá na forma de clubes.

Para estimar os clubes de convergência, consideram-se as séries temporais da emissão e da renda *per capita* de cada país (unidade *cross-section*), assumindo que a tendência de crescimento de longo prazo de um dado clube é uma média das tendências de crescimento individuais. Sendo assim, pode-se dizer que cada clube possui uma tendência de crescimento de longo prazo associada a um determinado padrão de emissão que é comum entre as unidades *cross-section*.

Este procedimento permite acomodar a possibilidade conjunta de diversos tipos de heterogeneidade entre as economias e, em particular, a hipótese de heterogeneidade no progresso tecnológico. Neste contexto, utiliza-se o *log* da emissão de CO₂pc e do PIBpc, tendo as informações de 135 países durante o período de 1970 até 2007. Inicialmente, a análise se concentra na convergência ambiental, seguida pela análise convergência de renda e, posteriormente, na comparação entre os clubes de convergência.

De acordo com o procedimento de Phillips e Sul (2007), primeiro, testa-se a convergência global da emissão de CO₂pc por meio da equação (7)⁶⁰. Como os resultados indicam uma estimativa de β_1 igual a -0.8339, com respectiva estatística $t_{\hat{\beta}_1}$ de -83.0967 e como $t_{\hat{\beta}_1}$ é menor que -1,65, rejeita-se a hipótese nula de convergência global. Sendo assim, pode-se dizer que as emissões globais de CO₂pc não estão convergindo para um determinado nível de emissão comum. No entanto, é possível que um grupo de países esteja convergindo e, para identificar os possíveis clubes de convergência, buscou-se uma maior parcimônia na determinação dos clubes fixando-se $c^* = 0$.

⁶⁰ $\log \frac{H_1}{H_t} - 2 \log(\log t) = \beta_0 + \beta_1 \log t + u_t$ para $t = T_0, \dots, T$.

O procedimento prossegue adicionando economias ao núcleo e finaliza ao identificar o primeiro clube, formado praticamente, por países desenvolvidos, com exceções de alguns países como Cuba, África do Sul, Portugal e Romênia.

Posteriormente, testa-se a hipótese de que as economias remanescentes formam um segundo grupo de convergência e, como se obtém $t_{\hat{\beta}_1} = -273.391 < -1,65$, rejeita a hipótese de convergência global entre estes países. Diante disso, pode-se dizer que existem outros clubes de convergência de emissão de CO_2pc , formados a partir desta sub-amostra. Através da aplicação dessa metodologia de maneira sucessiva, os resultados reportados na Tabela 3.2 indicam a existência de 10 clubes de convergência.

TABELA 3.2: TESTE LOG-T – PHILLIPS E SUL (2007), CLUBES DE CONVERGÊNCIA DE CO_2PC

| Países | Const | t-const | Log-t | t-Logt | T-Rest* |
|---|--------|---------|--------|--------|----------|
| Clube 1: ALB, DZA, AUS, AUT, BHS, BHR, BRB, BEL, BMU, BRN, BGR, CAN, CUB, DNK, FIN, FRA, GAB, GRC, HKG, HUN, ISL, IRL, ITA, JPN, LUX, MLT, MNG, NLD, NZL, NOR, OMN, POL, PRT, ROM, SYC, SGP, ZAF, ESP, SWE, CHE, TWN, TTO, GBR, USA, KOR | -2.856 | -9.398 | 0.168 | 1.772 | -273.391 |
| Clube 2: ARG, CHN, CYP, ECU, ISR, JOR, MAC, MEX, WSM, SUR, SYR, TUN, TUR, VEN | -3.182 | - 8.564 | 0.257 | 2.219 | -134.563 |
| Clube 3: ATG, BRA, CHL, COL, DOM, EGY, GUY, IDN, IRN, IRQ, LBN, MAR, RWA, STP, VCT, THA, TON | -2.812 | -7.931 | 0.061 | 0.548 | -121.545 |
| Clube 4: BLZ, CRI, CIV, DJI, FJI, GRD, IND, MRT, MUS, NGA, PAN, PNG, PER, URY | -2.722 | -10.765 | 0.159 | 2.014 | -119.188 |
| Clube 5: AGO, BOL, CMR, SLV, HTI, NIC, PRY, PHL, SEN, SLB | -3.031 | -12.095 | 0.182 | 2.325 | -113.092 |
| Clube 6: AFG, CPV, GNQ, GMB, GHA, GTM, GNB, HND, KEN, KIR, LBR, NER, SLE, LKA, TGO, VUT, ZMB | -1.952 | -7.478 | 0.104 | 1.279 | -58.039 |
| Clube 7: BEN, BFA, BDI, COM, GIN, SDN | -2.862 | -5.733 | 0.181 | 1.164 | -35.502 |
| Clube 8: CAF, MDG, MWI, MLI, MOZ | -4.197 | -4.317 | 0.552 | 1.822 | -24.958 |
| Clube 9: KHM, TCD, ETH, LAO, UGA | -2.127 | -6.445 | 0.039 | 0.383 | -0.364 |
| Clube 10: ZAR, COG | -1.538 | -1.735 | -0.101 | -0.364 | * |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota: Sempre que *T-Rest* for menor que -1.65 repita o procedimento de formação de clubes de convergência.

De acordo com as estimativas por clube apresentados na Tabela 3.2, o 2º Clube contém alguns dos países em desenvolvimento como, por exemplo, China, México, Venezuela, Turquia e Israel. Por outro lado, Brasil e Egito, pertencem ao 3º Clube, enquanto Índia aparece no 4º Clube de convergência de emissão de CO_2pc . Já os clubes 5 a 10, contemplam basicamente os países africanos. Vale ressaltar que estes países não fazem parte do Protocolo de Quioto, ver Anexo I, isto é, eles não possuem metas de redução das suas emissões de GEE.

Como o ordenamento dos Clubes é feito com base nas emissões *per capita*, os países do Clube 1, têm maior taxa de emissão do que os países do segundo clube que, por sua vez, apresentam maiores taxas dos que os do terceiro clube e, assim por diante. Além disso, é bom destacar que as dinâmicas de transição para o estado estacionário de cada país que compõe um determinado clube não necessitam de variáveis de controle, por esta condicionada as próprias emissões *per capita* dos países.

No tocante a magnitude dos parâmetros, verifica-se que como o 2º Clube possui velocidade de convergência superior ao 1º Clube, àquelas economias possuem velocidades de convergência mais alta do que estas e, isto favorece a presença de um efeito *cath up* das economias do 2º Clube de emissão para 1º Clube. Diante disso, é necessário estipular algum mecanismo para que estas economias não atinjam os níveis, de poluição dos países do 1º Clube, principalmente, a China e o México, que tenderão a superar as emissões dos países desenvolvidos se mantiverem seus níveis atuais de emissão de CO_2 .

Esta mesma análise vale para as economias que compõe o 4 e 5º Clube, não migrem para o nível de emissão dos países do 3º Clube. Além destes efeitos, verifica-se que o 7 e 8º Clube apresentam velocidade de convergência superior ao 6º Clube, o que tende a gerar um efeito *cath up* daquelas economias em relação a este clube.

Por outro lado, pode-se dizer que as emissões das economias que compõe o 3º Clube, são relativamente persistentes e, por conseguinte, existe baixa possibilidade de efeito *catch up* em direção aos clubes de maior emissão de CO_2pc .

Com base nestes resultados, pode-se inferir que a médio/longo prazo, as economias que compõe o 2º Clube tendem a migrar para o 1º Clube, enquanto os países que hoje pertencem ao 4 e 5º Clube aproximam-se dos níveis de emissão do 3º Clube, assim como, as economias do 7 e 8º Clube em relação ao 6º. De uma maneira geral, então, percebe-se que os níveis de emissão de CO_2pc tendem a aumentar, caso não haja, uma política global visando reduzir os níveis de emissão global de CO_2 a fim de mitigar as emissões do GEE para dirimir os efeitos das mudanças climáticas.

Deste ponto em diante, a análise se concentra na formação dos clubes de convergência de $PIBpc$. Ao estimar a equação (11) para essa variável verifica-se um $\beta_1 = -0.8125$ e estatística $t_{\hat{\beta}_1} = -59.99$, ou seja, a hipótese de convergência global é rejeitada em favor da

formação de clubes de convergência. Uma vez que, o *PIBpc* dos 135 países que compõe a amostra não estão convergindo para um determinado nível de renda *per capita* comum. Ao aplicar o procedimento para estimar os clubes de convergência, constatou-se a existência de 7 clubes de convergência, como se observa na Tabela 3.3.⁶¹

Note que, as economias do 2º Clube, possuem velocidade de convergência mais alta que a do 1º, o que favorece a presença de um efeito *catch up* destas economias para um nível de renda *per capita* mais alto. Em relação ao 3º Clube, verifica-se que as rendas destas economias, são relativamente persistentes e, ainda, há pouca possibilidade de efeito *catch up* em direção ao 2º Clube.

TABELA 3.3: TESTE LOG-T – PHILLIPS E SUL (2007), CLUBES DE CONVERGÊNCIA DE PIBPC

| Países | Const | t-const | Log-t | t-Logt | T-Rest* |
|--|--------|---------|--------|--------|---------|
| Clube 1: ATG, ARG, AUS, AUT, BHS, BHR, BRB, BEL, BLZ, BMU, BRA, BRN, BGR, CAN, CPV, CHL, CHN, COL, CRI, CYP, DNK, DOM, EGY, SLV, GNQ, FIN, FRA, GAB, GRC, GRD, GUY, HKG, HUN, ISL, IRN, IRL, ISR, ITA, JPN, KIR, LUX, MAC, MLT, MUS, MEX, NLD, NZL, NOR, OMN, PAN, POL, PRT, WSM, SYC, SGP, ESP, LKA, VCT, SWE, CHE, TWN, THA, TON, TTO, TUN, TUR, GBR, USA, URY, KOR | -1.788 | -8.843 | -0.059 | -0.943 | -98.048 |
| Clube 2: ALB, DZA, AGO, BOL, KHM, CUB, ECU, FJI, GTM, IND, IDN, LAO, LBN, MAR, PER, PHL, ROM, ZAF, SDN, SUR, SYR, UGA, VUT, VEN | -2.857 | -10.907 | 0.277 | 3.395 | -51.121 |
| Clube 3: BEN, BFA, CMR, TCD, COG, CIV, DJI, GMB, GHA, GNB, HND, IRQ, JOR, KEN, MLI, MRT, MNG, MOZ, NIC, NGA, PNG, PRY, STP, SEM, SLB | -2.547 | -13.129 | 0.158 | 2.611 | -24.700 |
| Clube 4: ETH, GIN, HTI, RWA, ZMB | -2.731 | -9.152 | 0.280 | 3.008 | -20.790 |
| Clube 5: COM, MDG, NER, SLE, TGO | -3.236 | -12.545 | 0.076 | 0.940 | -4.854 |
| Clube 6: AFG, BDI, CAF | -2.365 | -3.545 | 0.416 | 1.998 | -2.775 |
| Clube 7: LBR, MWI | 1.318 | 0.412 | -0.715 | -0.717 | - |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota: Sempre que *T-Rest* for menor que -1.65 repita o procedimento de formação de clubes de convergência.

A partir destes resultados, pode-se dizer que este capítulo alcança seus objetivos, uma vez que, responde as seguintes indagações: existe convergência de emissões? Os clubes de convergência com maior nível de emissão é composto pelos países mais ricos? Os países ricos convergem de forma diferenciada dos países em desenvolvimento? Ou há países em desenvolvimento convergindo para o mesmo nível de poluição dos observados nos países desenvolvidos?

⁶¹ Monteiro, Penna e Castelar (2010) analisaram a convergência do *PIBpc* de 112 países com informações de 1980 até 2014 – utilizam-se dos dados do Fundo Monetário Internacional e suas previsões até 2014 – e encontram 10 clubes de convergência. Analisando a Tabela 3.4, em Anexo, percebe-se que os clubes estimados por eles coincidem com os encontrados nesta pesquisa, Tabela 3.3.

Com base na estimação dos clubes de convergência ambiental e de renda, verifica-se que tanto as emissões de CO_2pc quanto o $PIBpc$ estão convergindo e, ainda, que existem clubes de convergência, os quais apresentam heterogeneidade no processo tecnológico, seja em função da emissão de CO_2 ou do crescimento econômico ($PIBpc$).

Para facilitar esta análise optou agrupar os clubes de emissão por convergência de renda *per capita*, de tal maneira a explicitar a interseção entre os clubes de emissão com os clubes de renda, como se observa no Quadro 3.3. Primeiramente, note que, existem mais clubes de convergência ambiental do que de renda e, ainda, os três primeiros clubes de renda contemplam mais países do que os de convergência de emissão *per capita*.

Primeiramente, observa-se que a maioria dos países que compõe o 1º clube de renda *per capita* também se fazem presentes no 1º clube de emissão. Além disso, este 1º clube possui países que estão entre os três primeiros clubes de renda *per capita* e, por isso, pode-se dizer que quem mais emite CO_2pc são realmente os países mais desenvolvidos.

Em relação ao 2º clube de emissão, verifica que este é composto basicamente por países do 1 e 2º clube de renda *per capita*. Ressaltando que o 2º clube de renda possui velocidade de convergência superior ao 1º o que lhe credencia a alcançar o nível de renda países do 1º clube e, por conseguinte, o nível de emissão dos países do 1º clube.

Como renda e emissão de carbono são correlacionadas positivamente, existe uma evidência de que as emissões globais tendem a aumentar no médio/longo prazo, principalmente, em função dos países em desenvolvimento como China, Índia, México e África do Sul convergir para o nível de renda *per capita* dos países ricos.

No entanto, note que alguns países que compõe o 1º clube de renda possuem baixo nível de emissão, uma vez que eles estão distribuídos do 3º ao 6º clube de convergência de emissão. Sendo assim, se faz necessário a criação de algum mecanismo para que estes países não alcancem os maiores níveis de emissão. Ou seja, é preciso haver alguma compensação para que estes países continuem aumentando sua renda *per capita* de maneira sustentável, isto é, sem elevar o nível de poluição.

Este mesmo argumento vale para os países que compõe o 2º clube de convergência de renda e estão distribuídos do 3º ao 9º clube de emissão. Lembrando que, a velocidade de

convergência de renda destes clubes não lhes credenciam ao efeito *cath up* em direção aos dois primeiros clubes de renda.

Em suma, pode-se dizer que os países desenvolvidos são realmente quem mais emitem CO_2pc . Além disso, verifica-se que os países desenvolvidos convergem de forma diferenciada em relação aos países em desenvolvimento, no entanto, estes possuem velocidades de convergência mais alta do que os países ricos, o que os possibilita um efeito *cath up* para o nível mais alto de emissão.

Com esteio nestes resultados, pode-se conjecturar que o cenário atual e futuro sobre o nível de emissão de CO_2pc tende a aumentar e, por conseguinte, os efeitos do aquecimento global podem comprometer o bem-estar desta e das próximas gerações. Para evitar que isto ocorra, é preciso haver uma ação coordenada de tal maneira a instituir um sistema de cotas de emissão para todas as nações visando controlar e, posteriormente, reduzir os níveis de emissão.

| Convergência de Renda | | | | | | | | |
|------------------------|-----|--|-------------------------|--------------------------|-----|---------------|-----|-----|
| Clubes | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | 7° | |
| Convergência Ambiental | 1° | AUS, AUT, BHS, BHR, BRB, BEL, BMU, BRN, BGR, CAN, DNK, FIN, FRA, GAB, GRC, HKG, HUN, ISL, IRN, IRL, ITA, JPN, LUX, MLT, NLD, NZL, NOR, OMN, POL, PRT, GBR, TWN, USA, KOR, SWE, CHE, ESP, SYC, SGP, TTO | ALB, DZA, CUB, ROM, ZAF | MNG | | | | |
| | 2° | ARG, CHN, CYP, ISR, MAC, MEX, WSM, TUN, TUR. | ECU, SUR, SYR, VEN | | | | | |
| | 3° | ATG, BRA, CHL, COL, DOM, EGY, GUY, IRN, VCT, THA, TON | IDN, LBN, MAR, | IRQ, STP | RWA | | | |
| | 4° | BLZ, CRI, GRD, MUS, URY | IND, FJI, PER | CIV, DJI, MRT, NGA, PNG | | | | |
| | 5° | SLV | AGO, BOL, PHL, | CMR, NIC, PRY, SEN, SLB | HTI | | | |
| | 6° | CPV, GNQ, KIR, LKA | GTM, VUT | GMB, GHA, GNB, HND, KEN, | ZMB | NER, SLE, TGO | AFG | LBR |
| | 7° | | SDN | BEN, BFA, | GIN | COM | BDI | |
| | 8° | | | MLI, MOZ | | MDG | CAF | MWI |
| | 9° | | KHM, LAO, UGA | TCD | ETH | | | |
| | 10° | | | | COG | | | |

QUADRO 3.3: COMPARAÇÃO ENTRE OS CLUBES DE CONVERGÊNCIA DE EMISSÃO DE CO_2pc E $PIBpc$.

Fonte: Elaborado pelo autor.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As alterações climáticas são encaradas como um problema único e talvez um dos mais difíceis desafios políticos na atualidade, principalmente, por contemplar aspectos econômicos, climáticos e ambientais. Neste contexto, este capítulo se propôs investigar se há convergência de emissões de CO_2 *per capita* entre 135 países durante o período de 1970 a 2007, levando em consideração a possibilidade de existência de clubes de convergência com características diferentes e, para isto, fez uso da metodologia desenvolvida por Phillips e Sul (2007).

Como renda e emissão são correlacionadas positivamente, optou-se por estimar clubes de convergência de renda, a fim de realizar comparações aos clubes de emissão *per capita* o que permite analisar se, realmente os países desenvolvidos emitem mais CO_2pc do que as nações em desenvolvimento.

As evidências empíricas sustentam a formação de 10 (clubes de convergência ambiental, ou seja, existe heterogeneidade entre as nações. No 1º Clube, figuram basicamente os países desenvolvidos e, por isso, conclui-se que, realmente, estes países possuem os maiores níveis de emissão de CO_2pc .

No entanto, o 2º Clube, formado por países em desenvolvimento como China e México, por exemplo, possui velocidade de convergência mais alta que a do 1º, o que lhe propicia o efeito *cath up* destas economias para um nível de emissão *per capita* mais alto. Isto tende a aumentar as emissões de gases que contribuem para o efeito estufa e, por conseguinte, tende a contribuir para as alterações climáticas e seus efeitos adversos tanto sobre a sociedade atual quanto para as futuras gerações, uma vez que a concentração de gases na atmosfera terrestre tende a perdurar por, pelo menos, um século.

Estes resultados se agravam, ao estimar os clubes de convergência de renda *per capita* e verificar que os países em desenvolvimento estão alcançando as nações desenvolvidas e, dificilmente, aceitariam regras para desacelerar este crescimento visando o desenvolvimento sustentável global.

Diante disso, é preciso estabelecer um novo regime de cotas emissão de CO_2 com mais países do que o que foi acordado com o PQ e, ainda, contemplar os países em desenvolvimento como China, Índia, México e África do Sul. Ao mesmo tempo, é preciso

estabelecer um sistema de tributação para as emissões de GEE, a fim de permitir alcançar os objetivos de estabilizar e, posteriormente, reduzir os níveis de emissão de maneira mais fácil.

Em função dos resultados apresentados, então, sugere-se que as cotas de emissão de CO₂ sejam definidas a partir do nível atual de emissão e da velocidade de convergência para clubes de maior nível de emissão.

No entanto, deve haver regimes de cotas diferenciadas para os países ricos e os países em desenvolvimento, de tal maneira a permitir que estes alcancem os níveis de renda dos países ricos. O regime diferenciado se faz necessário porque os efeitos do aquecimento global sobre a sociedade nos séculos XX e XXI são consequências dos gases alçados a atmosfera terrestre durante os séculos XVIII e XIX. Por isso, cabe aos países desenvolvidos a maior redução das emissões de CO₂, em função do seu histórico de emissão.

Todavia, as nações menos desenvolvidas não podem deixar de participar deste sistema e, ainda, é necessário conciliar crescimento econômico com preservação ambiental de tal forma a mitigar os efeitos do aquecimento global sobre as futuras gerações.

Outra medida que tende a ser eficiente ao combate do aquecimento global é aumentar a eficiência energética a partir do consumo de energia limpa (menos intensiva em emissão de carbono) e, para isto, necessariamente, é preciso substituir os combustíveis fósseis. Além do mais, se faz necessário a transferência de tecnologias com baixa emissão de carbono dos países desenvolvidos para as nações em desenvolvimento.

Em suma, para controlar as emissões de poluentes a fim de mitigar os GEE para adequar os efeitos do aquecimento global, deve-se criar um sistema de cotas e de tributação sobre as emissões per capita para todos os países, no entanto, com regimes diferenciados tanto pelo estágio de desenvolvimento econômico quanto pelo histórico de emissão.

ANEXO

TABELA 3.4: CLUBES DE CONVERGÊNCIA IDENTIFICADOS

| Países | Const | T-Const | LogT | T-LogT | T-Rest |
|--|--------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 1º Clube: Austrália, Áustria, Barein, Botsuana, Canadá, China, Dinamarca, Finlândia, França, Alemanha, Guiana, Islândia, Irlanda, Coreia, Holanda, Omã, Singapura, Suíça, Trindade e Tobago, Inglaterra, Estados Unidos | -2,730 | -19,201 | 0,474 | 10,728 | -25,712 |
| 2º Clube: Chile, Ciprus, Republica Dominicana, Grecia, Iran, Israel, Japão, Kwrite, Malásia, Maurício, Nova Zelândia, Panamá, Espanha, Tunísia, Uruguai | -2,015 | -15,742 | 0,094 | 2,295 | -23,475 |
| 3º Clube: Antigua e Barbuda, Argentina, Bahamas, Barbados, Bulgária, Costa Rica, Fiji, Gabão, Granada, Hungria, Índia, Jordânia, Líbia, Maldivas, México, Marrocos, Moçambique, Peru, Portugal, São Vicente e Granada, Seychelles, África do Sul, Suriname, Tailândia, Turquia, Venezuela | -2,056 | -15,467 | 0,173 | 4,071 | -20,899 |
| 4º Clube: Brasil, Egito, Indonésia, Nigéria, São Cristovão e Nevis, Sri Lanka, Suazilândia, | -2,419 | -13,107 | 0,209 | 3,537 | -20,925 |
| 5º Clube: Bangladesh, Colômbia, Dominica, Equador, El Savador, Santa Lucia, Sudão, Síria | -2,212 | -11,448 | 0,045 | 0,729 | -23,644 |
| 6º Clube: Congo, Gana, Jamaica, Paquistão, Paraguai, Filipinas | -2,681 | -16,321 | 0,325 | 6,177 | -25,483 |
| 7º Clube: Benin, Bolívia, Camarões, Costa do Marfim, Gâmbia, Honduras, Quênia, Lesoto, Mali, Mauritânia, Nepal, Papua Nova Guiné, Ruanda, Senegal, Uganda | -2,337 | -14,265 | 0,210 | 4,009 | -34,036 |
| 8º Clube: Malauí, Nicarágua, Zâmbia | -1,661 | -16,790 | 0,046 | 1,458 | -41,152 |
| 9º Clube: Madagascar, Níger, Ilhas Salomão | -4,157 | -7,972 | -0,134 | -0,803 | -41,542 |
| 10º Clube: Serra Léoa, Togo | -12,794 | -2,987 | 2,451 | 1,789 | -90,303 |

Fonte: Monteiro, Penna e Castelar (2010).

CONCLUSÃO DA TESE

Como as atividades econômicas se relacionam com o meio ambiente de diferentes formas como, por exemplo, o uso de insumos (matérias primas) pela produção e suas externalidades, que dependendo da tecnologia e da legislação ambiental pode levar a degradação ambiental. Diante disso, esta Tese examina a relação entre as emissões de CO_2 , apontada como principal agente causador do efeito estufa, e o crescimento econômico, por meio de três capítulos, visando contribuir para a extensa agenda de pesquisa dedicada ao tema aquecimento global.

O primeiro capítulo se propôs a investigar a hipótese levantada por Grossman e Krueger (1991) de que a relação entre poluição e renda pode ser representada pela *Curva de Kuznets Ambiental* em forma de “U”-invertido.

As evidências empíricas sugerem que a hipótese do “U”-invertido é, de fato, válida para os países desenvolvidos, renda *per capita* acima de U\$ 14.472,42. Para os países em desenvolvimento (renda *per capita* acima U\$ 1.326,10 e inferior a U\$ 14.472,42) e os mais pobres (renda *per capita* inferior a U\$ 1.326,10), os resultados apontam que aumentos na renda podem diminuir a degradação ambiental, no entanto, a CKA para estes países apresentam forma de S, ou seja, a forma de “U”-invertido se verifica para altos níveis de renda, isto é, se forem considerados os parâmetros da renda *per capita* ao quadrado e ao cubo.

Sendo assim, pode-se concluir que políticas públicas de âmbito global destinada a dirimir os níveis de emissão de CO_2 não geram resultados similares para todas as nações. Portanto, é necessária uma discussão de políticas globais, mas com regimes diferenciados e, para isto, é preciso que estas levem em consideração o atual estágio de desenvolvimento de cada país, de tal maneira a empregar políticas regionais mais heterogêneas, mas com resultados mais homogêneos para o mundo como um todo.

Com esteio nas evidências empíricas do capítulo 1, se faz apropriado analisar a *Tendência da Intensidade de Emissão de CO_2* para aferir a taxa de crescimento da intensidade de emissão para os países desenvolvidos e em desenvolvimento e, ainda, para testar se houve alguma mudança estrutural na razão entre CO_2 e PIB durante o período de 1950 a 2007.

As evidências empíricas indicam que dos 57 países analisados, 22 possuem taxa de crescimento positiva da intensidade da emissão, 30 apresentaram taxa de crescimento

constante, enquanto 5, apresentaram taxa de crescimento negativa da intensidade de emissão de CO_2 , isto ao estimar o modelo linear. De uma maneira geral, constatou-se que os países em desenvolvimento, principalmente, os BRICs que apresentam taxa de crescimento positiva da intensidade de emissão. Enquanto os países desenvolvidos, a tendência se mostrou negativa.

Além dessas evidências este capítulo ainda reporta que dentre os 57 países, constatou-se que em 18 houve uma mudança estrutural ao longo do período analisado, 1950 a 2007. Sendo que a maioria destas mudanças ocorreu durante a década de 1970, corroborando com a tese de Lanne e Liski (2003) sobre as fases de emissão de CO_2 , este período apresentou uma mudança permanentemente na estrutura das emissões de combustíveis fósseis em consequência dos choques do petróleo.

Além disso, pode-se dizer que este segundo capítulo remete a ideia de que os países desenvolvidos estão em um processo de descabornização da economia, enquanto os países em desenvolvimento estão no sentido contrário. Diante disso, pode-se dizer que estes resultados corroboram com os apresentados no primeiro capítulo, onde se verificou que a CKA vale para os países desenvolvidos.

Diante destes resultados e visando aferir se, realmente, quem mais emite CO_2pc são os países desenvolvidos, optou-se por testar se as emissões de CO_2pc estão convergindo. A partir da estimação, verificou-se que os 135 países considerados na amostra durante o período de 1970 a 2007, estão convergindo, mas não para uma trajetória comum, o que possibilita a formação de clubes de convergência, uma vez que os países apresentam características econômicas diferentes.

Ao aplicar o procedimento desenvolvido por Phillips e Sul (2007), foram encontrados 10 clubes de convergência de emissão de CO_2pc . Ao analisar a composição dos clubes, percebe-se que os países com maiores níveis de emissão *per capita*, são os países mais desenvolvidos. No entanto, os países do 2º Clube possuem uma velocidade de convergência superior a dos países do primeiro clube e, por isso, pode-se dizer que existe efeito *cath up*. Ou seja, os países do 2º clube tendem a migrar para um regime de emissão *per capita* mais alto.

Diante da evidência de que emissão de CO_2 e renda são correlacionadas positivamente, optou-se por estimar também a convergência de renda *per capita*,

considerando a mesma amostra de países e o mesmo período visando comparar a formação dos clubes de convergência ambiental com os de renda.

A partir destas comparações, é possível observar que existem mais clubes de emissão do que clubes de convergência de renda *per capita*. Além disso, verifica-se que o clube de maior nível de emissão é composto por países desenvolvidos. Enquanto que o 2º clube de emissão contempla apenas países em desenvolvimento e que pertencem ao 1º e 2º clube de renda *per capita*.

Como os países em desenvolvimento possuem velocidades de convergência mais elevada do que os países desenvolvidos, pode dizer que o cenário de curto/médio prazo é de elevação do nível de emissão global. Ainda mais porque os países em desenvolvimento, atualmente, possuem taxa de crescimento econômico superior ao dos países desenvolvidos e como as matrizes energéticas destes países contempla o uso de combustíveis fósseis como, carvão e petróleo, espera-se um aumento na emissão *per capita* global.

Diante dos resultados dos três capítulos, pode-se dizer de uma maneira geral, que as emissões de CO₂ tende a aumentar no curto/médio prazo. Por isso, a necessidade de se discutir a nível global as medidas a serem adotadas para estabilizar e, posteriormente, reduzir os níveis de emissão de CO₂. Ressaltando que estas decisões derivam de um processo de escolha social global, uma vez que o nível de renda pode ser estabelecido como causa e a solução do problema de degradação ambiental. Além disso, existe uma preocupação com os efeitos do aquecimento global tanto sobre a sociedade atual quanto sobre as próximas gerações.

Portanto, recomenda-se em termos de políticas destinadas a estabilização e, posteriormente, a redução dos níveis de emissão de CO₂ um novo acordo nos moldes do Protocolo de Quioto. No entanto, é preciso que este seja mais amplo, de tal maneira a contemplar todos os países, desenvolvidos e em desenvolvimento. Ao mesmo tempo, é preciso estabelecer um sistema de tributação para a emissão *per capita*.

Estes dois sistemas, cotas e tributário, devem ser elaborados a partir de regime diferenciado e, como sugestão, recomenda-se a velocidade de convergência de emissão, da renda *per capita*, o estágio de desenvolvimento de cada economia e, principalmente, pelo histórico de emissão de cada país.

Isto se faz necessário em decorrência do aquecimento global vivenciado pela sociedade durante a segunda metade do século e, a primeira década do século XXI são consequências das emissões dos gases que causam o efeito estufa alçados a atmosfera durante os séculos XVIII e XIX.

Além do sistema de cotas e do regime de tributação, é fundamental subsidiar a produção/geração de fontes alternativas de energia – recursos energéticos renováveis – com baixa emissão de GEE e, ainda, transferir tecnologia de baixa intensidade de carbono dos países ricos para os países em desenvolvimento, visando aumentar a eficiência energética destes países.

Neste contexto, pode-se dizer que este tipo de subsídio representa uma medida eficiente de mitigação do aquecimento global, uma vez que o efeito técnico é capaz de gerar um processo contínuo de redução dos níveis de emissão de poluentes, além de aumentar a velocidade de convergência para uma economia de baixa emissão de GEE e, por conseguinte, o bem-estar global em função de reduzir as emissões de GEE e os efeitos do aquecimento global.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acemoglu, D.; Aghion, P.; Bursztyn, L.; Hemous, D. The Environment and Directed Technical Change. **American Economic Review**, 2010. (*forthcoming*)

Agras, J.; Chapman, D. A dynamic approach to the environmental Kuznets curve hypothesis. **Ecological Economics**, v. 28, n. 2, p. 267-277, 1999.

Ahluwalia, M. S. Income distribution and development: some stylized facts. **American Economic Review**, v. 66, n. 2, p. 128-135, 1976.

Aímola, L. Alguns cenários exploratórios sobre o regime após o Protocolo de Quioto. In: Gilberto Dupas (org.) – **Meio Ambiente e Crescimento Econômico: tensões estruturais**. São Paulo, Ed. Unesp, 2008.

Aldy, J. E. Divergence in State-Level Per Capita Carbon Dioxide Emissions. **Land Economics**, n. 83, v. 3, p. 353-369, 2007.

Aldy, J. E. Per Capita Carbon Dioxide Emissions: Convergence or Divergence? **Environmental and Resource Economics**, v. 33, n. 4, p. 533-555. 2006.

Andreoni, J.; Levinson, A. The simple analytics of the environmental Kuznets Curve. **Journal of Public Economics**, v. 80, n. 2, p. 269–286, 2001.

Ang, B. W. Is the energy intensity a less useful indicator than the carbon factor in the study of climate change? **Energy Policy**, v. 27, p. 943-946, 1999.

Antweiler, W.; Copeland, B. R.; Taylor, M. S. Is Free Trade Good for the Environment? **American Economic Review**, v. 91, n. 4, p. 877-908, 2001.

Arellano, M.; Bond, S. Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and application to employment equations. **The Review of Economic Studies**, v. 58, n. 2, p 277-297, 1991.

Arnt, R. **O que os Economistas pensam sobre sustentabilidade**. São Paulo: Ed, 34, 2010.

Arraes, R. A.; Diniz, M. B.; Diniz, M. J. T. Curva ambiental de Kuznets e desenvolvimento econômico sustentável. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 44, n. 3, p. 525-547, 2006.

Arrow, K. et al. Economic growth, carrying capacity and the environment. **Ecological Economics**, v. 15, n. 2, p. 91–95, 1995.

Barassi, M. R.; Cole, M. A.; Elliot, R. J. R. Stochastic divergence or convergence of per capita carbon dioxide emissions: Re-examinig the evidence. **Environmental and Resource Economics**, v. 40, n. 1, p. 121-137, 2008.

Barro, R. Economic growth in a cross section of countries. **Quarterly Journal of Economics**, v. 106, p. 407-43, 1991.

Barro, R. J. Inequality and growth in a panel of countries. **Journal of Economic Growth**, v. 5, p. 5-32, 2000.

Barro, R. J.; Sala-i-Martin, X. Convergence. **Journal of Political Economy**, v. 100, n. 2, p. 223–251, 1992.

Barro, R.; Sala-i-Martin X.; Blanchard, O. J.; Hall, R. E. Convergence across states and regions. **Brookings Papers on Economic Activity**, v. 1991, n.1, p. 107-182, 1991.

Basu, S.; Weil, D. N. Appropriate technology and growth. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 113, n. 4, p. 1025-1054, 1998.

Beckerman, W. Economic growth and the environment: whose growth? whose environment? **World Development**, v. 20, n. 4, p. 481-496, 1992.

Beckerman, W; Pasek, J. The equitable international allocation of tradable carbon emission permits. **Global Environmental Change**, v. 5, n. 5, p. 405-413, 1995.

Berk, K. N. Consistent autoregressive spectral estimates. **Annals of Statistics**, v. 2, p. 489-502, 1974.

Bernard, A. B.; Jones, C. I. Technology and convergence. **The Economic Journal**, v. 106, n. 437, p. 1037-1044, 1996.

Bernard, A. D.; Durlauf, S. N. Interpreting tests of the convergence hypothesis. **Journal of Econometrics**, v. 71, p. 161–173, 1996.

Bimonte, S. **Model of Growth and Environmental Quality**. A New Evidence of the Environmental Kuznets Curve. April, mimeo, 2001.

Bodansky, D. 2004. **International Climate Efforts Beyond 2012: A Survey of Approaches**. Arlington, VA: Pew Center on Global Climate Change.

Boden, T. A.; Marland, G.; Andres, R. J. **Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO₂ Emissions**. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A., 2010.

Bousquet, A.; Favard, P. **Does S. Kuznets' Belief Question the Environmental Kuznets Curves?** September, mimeo, 2000.

Brock, W. A.; Taylor, M. S. The Green Solow Model. **Journal of Economic Growth**, v. 15, n. 2, p. 127-153, 2010.

Bunzel, H.; Vogelsang, T. J. Powerful trend function tests that are robust to strong serial correlation with an application to the Prebisch-Singer hypothesis. **Journal of Business and Economic Statistics**, v. 23, p. 381-394, 2005.

Canjels, E.; Watson, M. W. Estimating Deterministic Trends in the Presence of Serially Correlated Errors. **The Review of Economics and Statistics**, v. 79, n. 2, p. 184-200, 1997.

Carlino, G.; Mills, L. Testing Neoclassical Convergence in Regional Incomes and Earnings. **Regional Science and Urban Economics**, v. 26, n. 6, p. 565-590, 1996.

Carlino, G. A.; Mills, L. O. Are US regional incomes converging? A time series analysis. **Journal of Monetary Economics**, v. 32, n. 2, p. 335-346, 1993.

Carrion-i-Silvestre JL, Barrio-Castro TD, Lopez-Bazo E. Breaking the panels: an application to GDP per capita. **Econometrics Journal**, v. 8, n. 2, p. 159-75, 2005.

Carvalho, T. S.; Almeida, E. A hipótese da curva de Kuznets ambiental global: uma perspectiva econométrico-espacial. **Estudos Econômicos**, v. 40, n.3, p. 587-615, 2010.

Coggin, T. D. Using econometric methods to test for trends in the HadCRUT3 global and hemispheric data. **International Journal of Climatology**, 2010.

Cole, M. A. Trade, the pollution haven hypothesis and the environmental Kuznets curve: examining the linkages. **Ecological Economics**, v. 48, p. 71-81, 2004.

Cole, M. A.; Rayner, A. J.; Bates, J. M. The environmental Kuznets curve: an empirical analysis. **Environment and Development Economics**, v. 2, p. 401-416, 1997.

Commoner, B. The Environmental Costs of Economic Growth. In: Robert Dorfman e Nancy Dorfman (orgs). **Economics of the Environment Selected Readings**, 2 ed, New York, W. W. Norton e Company Inc, 1972.

Criado, C. O.; Grether, J. M. Convergence in per capita CO₂ emissions: A robust distributional approach. **Resource and Energy Economics**, v. 33, n. 3, p. 637-665, 2011.

D'Arge, R. C.; Kogiku, K. C. Economic Growth and the Environment. **The Review of Economic Studies**, v. 40, n. 1, p. 61-77, 1973.

De Bruyn, S. M.; Van Den Bergh, J. C. J. M.; Opschoor, J. B. Economic growth and emissions: reconsidering the empirical basis of environmental Kuznets curves. **Ecological Economics**, v. 25, p. 161-175, 1998.

Deacon, R.; Norman, C. S. **Is the Environmental Kuznets Curve an empirical regularity?** Santa Barbara: University of California at Santa Barbara, Department of Economics, 2004. (Economics Working Paper Series 22-03).

Dinda, S. A theoretical basis for the environmental Kuznets curve. **Ecological Economics**, v. 53, p. 403-413, 2005.

Dinda, S.; Coondoo, D. Income and emission: A panel data-based cointegration analysis. **Ecological Economics**, v. 57, p. 167-181, 2006.

Durlauf, S. N.; Johnson, P. A. Multiple regimes and cross-country growth behavior. **Journal of Applied Econometrics**, v. 10, n. 4, p. 365-384, 1995.

Durlauf, S. N.; Kourtellos, A.; Minkin, A. The local Solow growth model. **European Economic Review**, v. 45, n. 4-6, p. 928-40, 2001.

- Echevarria, C.; Ho, S. **A Decomposition of the Environmental Kuznets Curve**. February, mimeo, 2000.
- Evans, P. Using panel data to evaluate growth theories. **International Economic Review**, v. 39, n. 2, p. 295-306, 1998.
- Evans, P.; Karras, G. Convergence revisited. **Journal of Monetary Economics**, v. 37, p. 249–265, 1996.
- Ezcurra, R. Is there Cross-Country Convergence in Carbon Dioxide Emissions? **Energy Policy**, v. 35, p. 1363-1372, 2007.
- Fomby, T.; Vogelsang, T. J. The application of size-robust trend statistics to global warming temperature series. **Journal of Climate**, v. 15, p. 117–123, 2002.
- Fonseca, L. N.; Ribeiro, E. P. **Preservação ambiental e crescimento econômico no Brasil**. In: Encontro de Economia da Região Sul, VII, 2005. Preservação ambiental e crescimento econômico no Brasil. Rio Grande do Sul, 2005.
- Galeotti, M.; Lanza, A.; Pauli, F. Reassessing the environmental Kuznets curve for CO₂ emissions: A robustness exercise. **Ecological Economics**, v. 57, n. 1, p. 152-163, 2006.
- Galeotti, M.; Lanza, A. **Richer and cleaner?** A study on carbon dioxide emissions in developing countries. In: IAEE Annual International Conference, 22nd, 1999. Roma, 1999.
- Goldemberg, J. Note on the energy intensity of developing countries. **Energy Policy**, v. 24, n. 8, p. 759-761, 1996.
- Grenander, U.; Rosenblatt, M. **Statistical Analysis of Stationary Time Series**. New York: John Wiley, 1957.
- Grossman, G.; Krueger, A. **Environmental impacts of a North American free trade agreement**. NBER, paper 3914, Cambridge, MA, 1991.
- Grossman, G.; Krueger, A. Economic growth and the environment. **Quarterly Journal of Economics**, v. 110, n. 2, p. 353-377, 1995.
- Grubler, A. **Technology and Global Change**. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1998.
- Gruver, G. W. Optimal Investment in Pollution Control Capital in a Neoclassical Growth Context. **Journal of Environmental Economics and Management**, v.3, p.165-177, 1976.
- Hansen, B. E. Inference when a nuisance parameter is not identified under the null hypothesis. **Econometrica**, v. 64, p. 413-430, 1996.
- Hansen, B. E. Threshold effects in non-dynamic panels: Estimation, testing, and inference. **Journal of Econometrics**, v. 93, n. 2, p. 345-368, 1999.

Harvey, D. I.; Leybourne, S. J.; Taylor, A. M. R. A simple, robust and powerful test of the trend hypothesis. **Journal of Econometrics**, v. 141, p. 1302–1330, 2007.

He, J.; Richard, P. Environmental Kuznets curve for CO₂ in Canada. **Ecological Economics**, v. 69, n. 5, p. 1083-1093, 2010.

Heil, M.T.; Selden, T. M. Panel Stationarity with Structural Breaks: Carbon Emissions and GDP. **Applied Economics Letters**, v. 6, p. 223-225, 1999.

Heston, A.; Summers, R.; Aten, B. **Penn World Table Version 7.0**. Center for International Comparisons of Production, Income and Prices at the University of Pennsylvania, 2011.

Hilgemberg, E. M.; Guilhoto, J. J. M. Uso de combustíveis e emissões de CO₂ no Brasil: um modelo inter-regional de insumo-produto. **Nova Economia**, v.16, n.1, p. 49-99, 2006.

Ho, T-W. Income thresholds and growth convergence: A panel data approach. **Manchester School**, v. 74, n. 2, p. 170-189, 2006.

Holtz-Eakin, D.; Selden, T. M. Stocking the fires? CO₂ emissions and economic growth. **Journal of Public Economics**, v. 57, n. 1, p. 85-101, 1995.

Houghton, J. T.; Ding, Y.; Griggs, D. J. ; Noguera, M.; Van Der Linden, P. J.; Dai, X.; Maskell, K. Johnson, C. A. (Eds.). 2001. **Climate Change 2001: The Scientific Basis**. Contribution of Working Group 1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge, UK: Cambridge University Press, for IPCC.

Howitt, P.; Mayer-Foulkes, D. R&D, Implementation and stagnation: a schumpeterian theory of convergence clubs. **Journal of Money, Credit and Banking**, v. 37, p. 147-177, 2005.

Im, K. S.; Pesaran, M. H.; Shin, Y. Testing for unit roots in heterogenous panels. **Journal of Econometrics**, v. 115, n. 1, p. 53-74, 2003.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). **Climate Change 2001: The Scientific Basis**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2001.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). **Draft Report on the 21st Session of the IPCC**. Vienna: mimeo, 2003. Disponível em: www.ipcc.ch [acesso em fev. 2011].

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2000. **Special Report on Emissions Scenarios**. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Islam, N. Growth empirics: A panel data approach. **Quarterly Journal of Economics**, v. 110, p. 1127-1170, 1995.

Kaufmann, R. K.; Davidsdottir, B.; Garnham, S.; Pauly, P. The determinants of atmospheric SO₂ concentrations: reconsidering the environmental Kuznets curve. **Ecological Economics**, v. 25, p. 209-220, 1998.

Kim, Y.; Worrell, E. International Comparison of CO₂ Emission Trends in the Iron and Steel Industry. **Energy Policy**, v. 30, p. 827-838, 2002.

Kim, D.; Perron, P. Unit root tests allowing for a break in the trend function under both the null and alternative hypotheses. **Journal of Econometrics**, v. 148, p. 1–13, 2009.

Kuznets, S. Economic Growth and Income Equality. **American Economic Review**, v. 45, n. 1, p.1-28. 1955.

Lanne; M.; Liski, M. Trends and breaks in per-capita carbon dioxide emissions, 1870–2028. **Energy Journal**, v. 25, n. 4, p. 41–65, 2004.

Lantz, V.; Feng, Q. Assessing income, population, and technology impacts on CO2 emissions in Canada: Where's the EKC? **Ecological Economics**, v. 57, n. 2, p. 229-238, 2006.

Lee, J.; Strazicich, M. C.. Minimum Lagrange Multiplier Unit Root Test with Two Structural Breaks. **The Review of Economics and Statistics**, v. 85, n. 4, p. 1082-1089, 2003.

Lee, C. C.; Chang, C. C. New evidence on the convergence of per capita carbon dioxide emissions from panel seemingly unrelated regressions augmented Dickey– Fuller tests. **Energy**, v. 33, p. 1468– 1475, 2008.

Leggett, J.; Pepper, W. J.; Swart, R. J. Emissions Scenarios for IPCC: An Update. In **Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment**. Edited by J.T. Houghton, B.A. Callander, and S.K. Varney. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 1992.

List, J. A. Have Air Pollutant Emissions Converged among U.S. Regions? Evidence from Unit Root Tests. **Southern Economic Journal**, v. 66, n. 1, p. 144–155, 1999.

Lucas Jr, R. E. The industrial revolution: past and future. **Lectures on Economic Growth**. Cambridge: Harvard University Press, 2002.

Lucas Jr, R. E. On the mechanics of economic development. **Journal of Monetary Economics**, v. 22, p. 3-42, 1988.

Lucena, A. F. P. **Estimativa de uma Curva de Kuznets Ambiental aplicada ao uso de energia e suas implicações para as emissões de carbono no Brasil**. 2005. 132f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

Maddison, D. Environmental Kuznets Curves: a spatial econometric approach. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 51, p. 218-230, 2006.

Mankiw, N. G.; Romer, D.; Weil, D. N. A contribution to the empirics of economic growth. **Quarterly Journal of Economics**, v. 107, n. 3, p. 407-437, 1992.

Marland, G.; Boden, T. A.; Andres, R. J. Global, Regional, and National CO₂ Emissions. In **Trends: A Compendium of Data on Global Change**. Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory, Carbon Dioxide Information Analysis Center, 2003.

Martin, J.M. L'Intensité Énergétique de l'Activité Économique: les Évolutions de Très Longues Périodes livrent-elles des Enseignements Utiles?. *Economie et Sociétés* 49,27, 1988.

May, P. Como superar as contradições entre crescimento e sustentabilidade: inovações institucionais nos BRICs. In: Gilberto Dupas (org.) – **Meio Ambiente e Crescimento Econômico: tensões estruturais**. São Paulo, Ed. Unesp, 2008.

McKittrick, R.; Strazicich, M. C. **Stationarity of Global Per Capita Carbon Dioxide Emissions**: Implications for Global Warming Scenarios. Paper provided by University of Guelph, Department of Economics in its series Working Papers n. 0503, 2005.

Mielnik, O.; Goldemberg, J. The evolution of the carbonization index in developing countries. **Energy Policy**, v. 27, p. 307- 308, 1999.

Mishan, E. J. **The Costs of Economic Growth**. Ringwood; Vic, Penguin Austrália, 1969.

Monteiro, V. B.; Penna, C. M.; Castelar, I. **Formação de Clubes de Convergência e Análise dos Determinantes da Taxa de Crescimento Econômico**. In: Anais do XXXVIII Encontro Nacional de Economia, Salvador– Bahia, 2010.

Moomaw, W. R.; Unruh, G. C. Are environmental Kuznets curves misleading us? The case of CO₂ emissions. **Environment and Development**, v. 2, p. 451-463, 1997.

Nakicenovic, N.; Grübler, A.; Gaffin, S.; Jung, T. T.; Kram, T.; Morita, T.; Pitcher, H.; Riahi, H.; Schlesinger, M.; Shukla, P. R.; Van Vuuren, D.; Davis, G.; Michaelis, L.; Swart, R.; Victor, N. IPCC SRES Revised: A response. **Energy and Environment**, v. 14, n.2, p. 187-214, 2003.

Nelson, C. R.; Plosser, C. Trends and random walks in macroeconomic time series: some evidence and implications. **Journal of Monetary Economics**, v. 10, p. 139-162, 1982.

Nguyen-Van, P. Distribution Dynamics of CO₂ Emissions. **Environmental and Resource Economics**, v. 32, p. 495-508, 2005.

Nielsson, L. Energy intensity in 31 industrial and developing countries 1950-88. **Energy**, v. 18, p. 309-322, 1993.

Oliveira Junior, J. N.; Diniz, M. B.; Castelar, I.; Ferreira, R. T. Determinação dos clubes de convergência da renda per capita agrícola: uma análise para os municípios cearenses. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 47, n. 4, p. 995-1021, 2009.

Panayotou, T. Demystifying the Environmental Kuznets curve: turning a black box into a policy tool. **Environment and Development Economics**, v. 2, n. 4, p. 465-484, 1997.

Panayotou, T. **Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development**. Technology and Employment Programme. Geneva: International Labor Office, 1993. (Working Paper WP238).

Panopoulou, E.; Pantelidis, T. Club Convergence in Carbon Dioxide Emissions. **Environmental & Resource Economics**, v. 44, n. 1, p. 47-70, 2009.

Parente, S. L.; Prescott, E. C. Barriers to technology adoption and development. **Journal of Political Economy**, v. 102, p. 298-321, 1994.

Pearson, P. J. G. Energy, externalities, and environmental quality: will development cure the ills it creates. **Energy Studies Review**, v. 6, p. 199-216, 1994.

Penna, C. M. **Formação de Clubes de Convergência no Brasil**: uma abordagem do processo de convergência com enfoque em modelos não lineares. Tese de Doutorado em Economia – Curso de Pós-Graduação em Economia, Universidade Federal do Ceará, CAEN/UFC, Fortaleza, 2011.

Penna, C. M.; Linhares, F. C. Convergência e Formação de Clubes no Brasil sob a Hipótese de Heterogeneidade no Desenvolvimento Tecnológico. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 40, n. 4, 2009.

Perman, R.; Stern, D. I. Evidence from panel unit root and cointegration tests that the Environmental Kuznets Curve does not exist. **The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics**, v. 47, n. 3, p. 325-347, 2003.

Perron, P. The great crash, the oil price shock and the unit root hypothesis. *Econometrica*, v.57, p. 1361-1401, 1989.

Perron, P.; Yabu T. Estimating deterministic trends with an integrated or stationary noise component. **Journal of Econometrics**, v. 151, p. 56–69, 2009a.

Perron, P.; Yabu T. Testing for shifts in trend with an integrated or stationary noise component. **Journal of Business and Economic Statistics**, v. 27, p. 369–396, 2009b.

Pesaran, M. H. A Pair-Wise Approach to Testing for Output and Growth Convergence. **Journal of Econometrics**, v. 138, n. 1, p. 312-355, 2007.

Phillips, P. C. B.; Sul, D. Transition modeling and econometric convergence tests. **Econometrica**, vol. 75, n. 6, p. 1771-1855, 2007.

Poon, J. P. H; Casas, I.; He, C. The impact of energy, transport and trade on air pollution in China. **Eurasian Geography and Economics**, v. 47, p. 568-584, 2006.

Quah, D. Galton's Fallacy and Tests of the Convergence Hypothesis. **The Scandinavian Journal of Economics**, v. 95, n. 4, p. 427-443, 1993.

Quah, D.T. Empirics for Economic Growth and Convergence. **European Economic Review**, v. 40, p. 1353-1375, 1996.

Ravallion, M.; Heil, M.; Jalan, J. Carbon Emissions and Income Inequality. **Oxford Economic Papers**, v. 46, p. 757-773, 2000.

Rayner, N. A.; Brohan, P.; Parker, D. E.; Folland, C. K.; Kennedy, J. J.; Vanicek, M.; Ansell, T. J.; Tett, S. F. B. Improved Analyses of Changes and Uncertainties in Sea Surface Temperature Measured In Situ since the Mid-Nineteenth Century: The HadSST2 Dataset. **Journal of Climate**, v. 19, p. 446–469, 2006.

Roca, J.; Alcántara, V. Energy intensity, CO₂ emissions and the environmental Kuznets curve. The Spanish case. **Energy Policy**, v. 29, p. 553-556, 2001.

Romero-Avila, D. Convergence in Carbon Dioxide Emissions among Industrialized Countries Revisited. **Energy Economics**, v. 30, n. 5, p. 2265-2282, 2008.

Rupasingha, A.; Goetz, S. J.; Debertin, D. L.; Pagoulatos, A. The Environmental Kuznets Curve for US counties: a spatial econometric analysis with extensions. **Regional Science**, v. 83, p. 407-424, 2004.

Said, S. E.; Dickey, D. A. Testing for unit roots in autoregressive-moving average models of unknown order. **Biometrika**, v. 71, p. 599-608, 1984.

Sala-i-Martin, X. Regional Cohesion: Evidence and Theories of Regional Growth and Convergence. **European Economic Review**, v. 40, p. 1325-1352, 1996.

Schmalensee, R.; Stiker, T. M.; Judson, R. A. World Carbon Dioxide Emissions: 1950-2050. **The Review of Economics and Statistics**, v. 80, n. 1, p. 15-27, 1998.

Selden, T. M.; Song, D. Environmental quality and development: is there a Kuznets Curve for air pollution emissions? **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 27, n. 2, p. 147-162, 1994.

Shafik, N. Economic Development and Environmental Quality: An Econometric Analysis. **Oxford Economic Papers**, v. 46, p. 757-73, 1994.

Shafik, N., Bandyopadhyay, S. Economic growth and environmental quality: a time series and cross-country evidence. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 4, p.1-24, 1992.

Shukla, V.; Parikh, K. The Environmental Consequences of Urban Growth: Cross-National Perspectives on Economic Development, Air Pollution, and City Size. **Urban Geography**, v. 13, n. 5, p. 422-48, 1992.

Solow, R. Intergenerational Equity and Exhaustible Resources. **Review of Economic Studies**, Symposium Volume, p. 29-45, 1975.

Solow, R. M. A Contribution to the Theory of Economic Growth. **Quarterly Journal of Economics**, v. 70, n. 1, p. 65-94, 1956.

Solow, R. The Economics of Resources or the Resources of Economics. **The American Economic Review**, v. 64, n. 2, p.1-14, 1974.

Stegman, A. **Convergence in Carbon Emissions per Capita**. Centre of Applied Macroeconomic Analysis Working Paper, The Australian National University. 2005.

Stern, D. I. Applying recent developments in time series econometrics to the spatial domain. **Blackwell Publishers**, v. 52, n. 1, p. 37-49, 2000.

Stern, D. I. The rise and the fall of the Environmental Kuznets Curve. **World Development**, v. 32, n. 8, p. 1419-1439, 2004.

Stern, D. I. Explaining changes in global sulfur emissions: an econometric decomposition approach. **Ecological Economics**, v. 42, n. 1/2, p. 201-220, 2002.

Stern, D. I. Global sulfur emissions from 1850 to 2000. **Chemosphere**, Troy, v. 58, p. 163-175, 2005.

Stern, D. I. Progress on the environmental Kuznets curve? **Environmental and Development Economics**, v. 3, n. 2, p. 173-196, 1998.

Stern, N. Sir. **Stern Review: The Economics of Climate Change**. 2006. Disponível em: http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/destaques/sternreview_report_complete.pdf. [acesso em mar. 2011].

Stiglitz, J. Growth with Exhaustible Natural Resources: Efficient and optimal Growth Paths. **Review of Economic Studies**, Symposium Volume, p. 123-52, 1975.

Stokey, N. L. Are there limits to growth? **International Economic Review**, v. 39, n. 1, p. 1-31, 1998.

Strazicich, M. C.; List, J. A. Are CO₂ Emission Levels Converging among Industrial Countries? **Environmental and Resource Economics**, v. 24, p. 263-271, 2003.

Strazicich, M. C.; Lee, J.; Day, E. Are incomes converging among OECD countries? Time series evidence with two structural breaks. **Journal of Macroeconomic**, v. 26, n. 1, p. 131-45, 2004.

Sun, J. W. The nature of CO₂ emissions Kuznets curve. **Energy Policy**, v. 27, p. 691-694, 1999.

Suri, V.; Chapman, D. Economic growth, trade and energy: implications for the environmental Kuznets curve. **Ecological Economics**, v. 25, p. 195-208, 1998.

Torras, M.; Boyce, J. K. Income, inequality and pollution: a reassessment of the environmental Kuznets curve. **Ecological Economics**, v. 25, p. 147-170, 1998.

Trompieri Neto, N.; Castelar, I.; Linhares, F. C.. **Convergência de Renda dos Estados Brasileiros: Uma Abordagem em Painel Dinâmico com Efeito Threshold**. In: Anais do XXXVI Encontro Nacional de Economia, Salvador – Bahia, 2008.

Tsurumi, T.; Managi, S. Decomposition of the environmental Kuznets curve: scale, technique, and composition effects. **Environmental Economics and Policy Studies**, v. 11, n. 1, p. 19-36, 2010.

Van Vuuren, D.; Den Elzen, M.; Berk, M. et al. An evaluation of the level of ambition and implications of the Bush Climate Change Initiative. **Climate Policy**, v. 2, p. 293-301, 2002.

Vogelsang, T. J. Trend function hypothesis testing in the presence of serial correlation. **Econometrica**, v. 66, p. 123–148, 1998.

Vogelsang, T. J.; Franses, P. H. Testing for common deterministic trend slopes. **Journal of Econometrics**, v. 126, n. 1, p. 1-24, 2005.

Wagner, M. **The Carbon Kuznets Curve: A Cloudy Picture Emitted by Bad Econometrics?** Institute for Advanced Studies, Vienna, Economics Series, n. 197, 2007.

Webster, M. D.; Babiker, M.; Mayer, M.; Reilly, J. M.; Harnisch, J.; Hymam, R.; Sarofim, M. C.; Wang, C. **Uncertainty in Emissions Projections of Climate Models**. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, 2002. (mimeo).

Westerlund, J.; Basher, S. A. Testing for convergence in carbon dioxide emissions using a century of panel data. **Environmental & Resource Economics**, v. 40, n. 1, p. 109-120, 2008.

Woodward, W. A.; Gray, H. L. Global warming and the problem of testing for trend in time series data. **Journal of Climate**, v. 6, p. 953–962, 1993.