

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA E  
DESENVOLVIMENTO**

**A RELAÇÃO ENTRE CRESCIMENTO ECONÔMICO E  
AS EMISSÕES DE CO<sub>2</sub>: UMA ANÁLISE DA CURVA  
DE KUZNETS AMBIENTAL PARA PAÍSES  
DESENVOLVIDOS E EM DESENVOLVIMENTO**

**DISSERTAÇÃO**

**Camila Albornoz Brufao**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2013**

**A RELAÇÃO ENTRE CRESCIMENTO ECONÔMICO E AS  
EMISSÕES DE CO<sub>2</sub>: UMA ANÁLISE DA CURVA DE  
KUZNETS AMBIENTAL PARA PAÍSES DESENVOLVIDOS E  
EM DESENVOLVIMENTO**

**por**

**Camila Albornoz Brufao**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Economia e Desenvolvimento, Linha de Pesquisa em História e Dinâmica do Desenvolvimento, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção de grau de **Mestre em Economia e Desenvolvimento**.

**Orientador: Prof. Dr. Valny Giacomelli Sobrinho**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2013**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Albornoz Brufao, Camila  
A RELAÇÃO ENTRE CRESCIMENTO ECONÔMICO E AS EMISSÕES DE CO2: UMA ANÁLISE DA CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL PARA PAÍSES DESENVOLVIDOS E EM DESENVOLVIMENTO / Camila Albornoz Brufao.-2013.  
61 f. ; 30cm

Orientador: Valny Giacomelli Sobrinho  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Sociais e Humanas, Programa de Pós-Graduação em Economia e Desenvolvimento, RS, 2013

1. Crescimento da Renda 2. Emissões de CO2 3. Curva de Kuznets Ambiental I. Giacomelli Sobrinho, Valny II. Título.

Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Sociais Aplicadas  
Programa de Pós-Graduação em Economia e Desenvolvimento

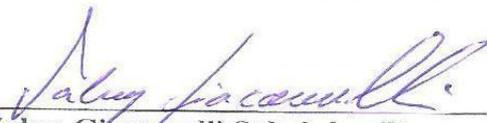
A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação de  
Mestrado

**A RELAÇÃO ENTRE CRESCIMENTO ECONÔMICO E AS  
EMISSÕES DE CO<sub>2</sub>: UMA ANÁLISE DA CURVA DE KUZNETS  
AMBIENTAL PARA PAÍSES DESENVOLVIDOS E EM  
DESENVOLVIMENTO**

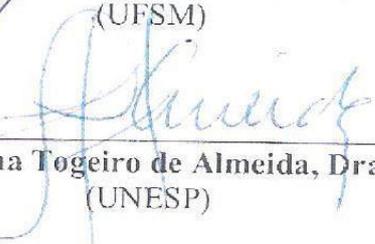
elaborada por  
**Camila Albornoz Brufao**

como requisito parcial para a obtenção do grau de  
**Mestre em Economia e Desenvolvimento**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

  
\_\_\_\_\_  
**Valny Giacomelli Sobrinho, Dr.**  
(Presidente/Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
**Solange Regina Marin, Dra.**  
(UFSM)

  
\_\_\_\_\_  
**Luciana Togeiro de Almeida, Dra.**  
(UNESP)

Santa Maria, 09 de Agosto de 2013

*Dedico especialmente aos meus pais, Mariano e Jacqueline, meus exemplo de vida, e minha maior fonte de inspiração. A minha irmã, Estefanía, minha companheira, que com seu amor incondicional, mesmo à distância, me ajuda a seguir em frente. E a minha amada família, minha maior fortaleza.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, por me guiar, proteger e amparar ao longo dessa caminhada e por me dar aquelas forças que eu muitas vezes não sabia de onde estava tirando para poder seguir em frente.

Aos meus pais, Mariano e Jacqueline, porque mesmo muitas vezes sem entender a proporção de tudo isso e o motivo das minhas lágrimas, raivas e estresses, me apoiaram todos os dias desses longos dois anos. Mais do que nada, por confiar em mim e me lembrar do meu valor, principalmente quando eu o esquecia.

A minha irmã Estefanía, por compartilhar comigo a parte mais tensa de todo o processo, por me ajudar a passar por tudo isso pelo simples fato de estar ao meu lado.

A minha tia, Güendalina, por ser essa segunda mãe que me acompanhou em todos os momentos.

As minhas pequenas, Marcela e Manuela, pelo amor incondicional que me dava forças para continuar.

A minha vó Chola, por acompanhar o processo, mesmo de longe e estar sempre pendente das minhas aulas, trabalhos e provas.

A minha tia Ruth, por confiar na minha capacidade e me incentivar sempre.

As minhas amigas de graduação, Cristiane Silva dos Santos e Liliane Milani, pelo apoio e amizade de sempre.

As minhas amigas e amigos de longe, todos, por se fazerem sempre presentes, nos momentos em que eu mais precisava de apoio.

Ao amigo Reisoli Bender Filho, meu eterno orientador Reiso. Pela sua calma frente ao meu desespero. Pelo carinho, apoio e disponibilidade de sempre. Por acompanhar essa trajetória, do primeiro ao último dia, desde o processo seletivo, até a dissertação. Por entender meus estresses e me acompanhar na alegria de cada pequena vitória.

Aos meus antigos professores da UNIFRA, por me apoiar e estimular, principalmente no começo de tudo isso.

Aos professores do PPGE&D, pelos conhecimentos transmitidos ao longo desses dois anos.

Ao Prof. Valny, pela orientação e contribuições necessárias para o aprimoramento do presente trabalho.

A todos os meus colegas da turma de 2011, Luiza Cristina de Oliveira Lins, Silvia Zanosso Missaggia, Joel Fiegenbaum, Daniel Claudy da Silveira, Elci da Silva Tonetto,

Clayton Ribeiro Barreto e Sabrina Cantarelli Almeida, pela convivência que tornou essa trajetória mais amena. A Luiza e Silvia em especial pela convivência e amizade fora da sala de aula e ao Joel pela inestimável ajuda de sempre.

A todos os que de uma forma ou outra acompanharam todo esse processo, aguentaram meu mau humor, mesmo sem entender o motivo, e aos que, mesmo sem saber, só por acreditar em mim me ajudaram a seguir.

A todos vocês meu mais sincero **MUITO OBRIGADA!**

*Não é que fé mova montanhas,  
nem que todas as estrelas estejam ao  
alcance, para as coisas que não  
podem ser mudadas resta-nos  
somente paciência porém, preferir a  
derrota prévia à dúvida da vitória é  
desperdiçar a oportunidade de  
merecer.*

*Sarah Westphal*

## **RESUMO**

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Economia e Desenvolvimento  
Universidade Federal de Santa Maria

### **A RELAÇÃO ENTRE CRESCIMENTO ECONÔMICO E AS EMISSÕES DE CO<sub>2</sub>: UMA ANÁLISE DA CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL PARA PAÍSES DESENVOLVIDOS E EM DESENVOLVIMENTO**

AUTORA: CAMILA ALBORNOZ BRUFAO

ORIENTADOR: VALNY GIACOMELLI SOBRINHO

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 09 de agosto de 2013.

O presente trabalho tem por objetivo analisar a relação entre o crescimento da renda per capita e as emissões de CO<sub>2</sub> per capita em países desenvolvidos – Estados Unidos e Alemanha – e países em desenvolvimento – Brasil e China – entre 1971 e 2009 tendo como base a hipótese da Curva de Kuznets Ambiental (CKA) em suas duas versões, a CKA em formato de U-invertido e a CKA em formato de N. A primeira sugere que, à medida que o crescimento da renda ocorra nos diversos países, os danos ambientais tendem a diminuir, apresentando, assim, um formato de U-invertido. A segunda, por outro lado, sugere que, embora o crescimento da renda per capita dos países leve, em certo momento a uma diminuição de danos ambientais, após alcançar um nível muito elevado, esse aumento da renda faz com que os danos ambientais voltem a crescer, que a curva apresente um novo ponto de inflexão e retome uma trajetória ascendente. Espera-se que os países desenvolvidos apresentem uma curva em formato de U-invertido, dado que alcançaram um nível de renda tal que lhes permite crescer com diminuição dos danos ambientais, ou ainda apresentem uma curva com formato de N dado que alcançaram um nível de renda ainda mais elevado que fez com que as suas emissões voltassem a ser positivas após um período de crescimento da renda com diminuição dos danos ambientais. Dos países em desenvolvimento por outro lado, se espera que apresentem relação linear monotônica crescente, dado que ainda não atingiram o nível de renda que lhes permite ter acesso a tecnologias que tornem os seus processos produtivos mais limpos fazendo com que cresçam por meio do crescimento de emissões de CO<sub>2</sub> e possam apresentar o trecho decrescente da curva. Os resultados obtidos variam de um país para outro. Em alguns, a relação entre crescimento da renda e emissões de CO<sub>2</sub> apresenta uma curva em formato de U-invertido; em outros, em formato de N ou, ainda, nenhum desses.

**Palavras-chave:** crescimento da renda, emissões de CO<sub>2</sub>, Curva de Kuznets Ambiental.

## **ABSTRACT**

Master Dissertation  
Post-Graduation Program in Economy and Development  
Federal University of Santa Maria

### **THE RELATIONSHIP BETWEEN ECONOMIC GROWTH AND CO2 EMISSIONS: AN ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL KUZNETS CURVE FOR DEVELOPED AND DEVELOPING COUNTRIES**

**AUTHOR: CAMILA ALBORNOZ BRUFAO**

**ADVISOR: VALNY GIACOMELLI SOBRINHO**

Date and place of presentation: Santa Maria, the 09<sup>th</sup> of August, 2013.

The present study aims to analyse the relationship between the growth of income per capita and CO<sub>2</sub> emissions per capita in developed countries - the United States and Germany - and developing countries - Brazil and China - between 1971 and 2009 based on the hypothesis of the Environmental Kuznets Curve (CKA) in its two versions, the CKA in the form of inverted U and the CKA in the form of N. The first suggests that as the income growth occurs in many countries, environmental damage tends to decrease, showing an inverted-U format. The second, on the other hand, suggests that the growth of countries per capita income take at one point to the environmental damage reduction, after reaching a very high level, the causes of environmental damage re-grow and the curve presents a new turning point and resumes an upward trajectory. It is expected that developed countries show a U-shaped inverted curve since reached such a level of income that allows them to grow with reduced environmental damage, or presenting a curve-shaped N since reached a level of income even higher which made its return emissions to be positive after a period of income growth with reduced environmental damage. Developing countries on the other hand, are expected to show linear monotonic increasing, as have not yet reached the level of income that allows them to have access to technologies that make their production processes cleaner making it grow through growth CO<sub>2</sub> emissions and can present the descending portion of the curve. The results vary from one country to another. In some, the relationship between income growth and CO<sub>2</sub> emissions has a curve shaped inverted-U, in others, in the shape of N, or even none of these.

**Keywords:** income growth, CO<sub>2</sub> emissions, Environmental Kuznets Curve.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relação linear monotônica crescente.....	18
Figura 2 - Relação linear monotônica decrescente.....	18
Figura 3 - Exemplo de uma Curva de Kuznets Ambiental em formato de U-invertido.....	21
Figura 4 - Exemplo da Curva de Kuznets Ambiental em formato de N .....	24
Figura 5 - PIB e CO <sub>2</sub> para o Brasil, em termos per capita, entre 1971 e 2009, a preços de 2000 .....	27
Figura 6 - Fontes de energia consumidas, em % do total, para o Brasil, entre 1971 e 2009....	28
Figura 7 - Energia primaria total consumida por tipo para o Brasil em 2009 .....	28
Figura 8 - PIB, FBKF e CO <sub>2</sub> para a China, em termos per capita, entre 1971 e 2009, a preços de 2000 .....	30
Figura 9 - Fontes de energia consumidas, em % do total, para a China, entre 1971 e 2009 ....	30
Figura 10 - Energia primaria total consumida por tipo para a China em 2009 .....	31
Figura 11 - PIB e CO <sub>2</sub> para a Estados Unidos, em termos per capita, entre 1971 e 2009, a preços de 2000.....	32
Figura 12 - Fontes de energia consumidas, em % do total, para os Estados Unidos, entre 1971 e 2009 .....	33
Figura 13 - PIB, FBKF e CO <sub>2</sub> para a Alemanha, em termos per capita, entre 1971 e 2009, a preços de 2000.....	34
Figura 14 - Fontes de energia consumidas, em % do total, para a Alemanha, entre 1971 e 2009 .....	35
Figura 15 - Relação entre PIBpc e CO <sub>2</sub> pc estimada para o Brasil, entre 1971 e 2009.....	40
Figura 16 - Relação entre PIBpc e CO <sub>2</sub> pc estimada para a China, entre 1971 e 2009.....	41
Figura 17 - Relação entre PIBpc e CO <sub>2</sub> pc estimada para os Estados Unidos, entre 1971 e 2009 .....	43
Figura 18 - Relação entre PIBpc e CO <sub>2</sub> pc estimada para a Alemanha, entre 1971 e 2009 .....	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Resultados da regressão da CKA estimada para o Brasil.....	39
Tabela 2 - Resultados da regressão da CKA estimada para a China.....	40
Tabela 3 - Resultados da regressão da CKA estimada para os Estados Unidos.....	42
Tabela 4 - Resultados da regressão da CKA estimada para a Alemanha.....	44
Tabela A. 1- Valores do PIBpc e CO2pc para o Brasil, entre 1971 e 2009 .....	53
Tabela A. 2 - Valores do PIBpc e CO2pc para a China, entre 1971 e 2009.....	54
Tabela A. 3 - Valores do PIBpc e CO2pc para os Estados Unidos, entre 1971 e 2009 .....	55
Tabela A. 4 - Valores do PIBpc e CO2pc para a Alemanha, entre 1971 e 2009.....	56
Tabela B. 1 - Fonte de energia, em % do total, para o Brasil, entre 1971 e 2009 .....	57
Tabela B. 2 - Fonte de energia, em % do total, para a China, entre 1971 e 2009 .....	58
Tabela B. 3 - Fonte de energia, em % do total, para os Estados Unidos, entre 1971 e 2009 ...	59
Tabela B. 4 - Fonte de energia, em % do total, para a Alemanha, entre 1971 e 2009 .....	60
Tabela C. 1- Estatísticas básicas da regressão estimada para o Brasil .....	61
Tabela C. 2 – Estatísticas básicas da regressão estimada para a China.....	61
Tabela C. 3 – Estatísticas básicas da regressão estimada para os Estados Unidos .....	61
Tabela C. 4 - Estatísticas básicas da regressão estimada para a Alemanha.....	61

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

- BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento
- BRIC – Brasil, Rússia, Índia e China
- CKA – Curva de Kuznets Ambiental
- CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono
- CO<sub>2</sub>pc – Dióxido de carbono per capita
- EIA – Administração da informação de energia
- EUA – Estados Unidos da América
- GEE – Gases do efeito estufa
- IPCC – Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
- PIB – Produto Interno Bruto
- PIBpc – Produto Interno Bruto per capita
- OMS – Organização Mundial da Saúde
- ONU – Organização das Nações Unidas
- SO<sub>2</sub> – Dióxido de enxofre
- SPM – Partículas em suspensão
- NAFTA – Acordo de Livre Comércio da América do Norte
- GEMS – Sistema de Monitoramento Ambiental Global

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>2 RELAÇÃO ENTRE O CRESCIMENTO ECONOMICO, E AS EMISSÕES DE CO<sub>2</sub>: A HIPÓTESE DA CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1 Antecedentes e primeiros estudos realizados sobre a CKA</b> .....	<b>19</b>
<b>2.2 A Curva de Kuznets Ambiental</b> .....	<b>21</b>
<b>3 A RELAÇÃO ENTRE O CRESCIMENTO DA RENDA, AS EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> E AS PRINCIPAIS FONTES DA MATRIZ ENERGÉTICA DOS PAÍSES DESENVOLVIDOS E EM DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>26</b>
<b>3.1 Brasil</b> .....	<b>26</b>
<b>3.2 China</b> .....	<b>29</b>
<b>3.3 Estado Unidos</b> .....	<b>31</b>
<b>3.4 Alemanha</b> .....	<b>33</b>
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	<b>36</b>
<b>4.1 Modelo teórico</b> .....	<b>36</b>
<b>4.2 Modelo Empírico</b> .....	<b>36</b>
<b>4.3 Hipóteses</b> .....	<b>37</b>
4.3.1. CKA em formato de U-invertido .....	37
4.3.2 A Curva de Kuznets Ambiental em formato de N .....	37
<b>4.4 Fonte dos dados</b> .....	<b>37</b>
<b>5 ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	<b>39</b>
<b>5.1 Brasil</b> .....	<b>39</b>
<b>5.2 China</b> .....	<b>40</b>
<b>5.3 Estados Unidos</b> .....	<b>42</b>
<b>5.4 Alemanha</b> .....	<b>43</b>
<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>46</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>50</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>52</b>
<b>ANEXO A</b> .....	<b>53</b>
<b>ANEXO B</b> .....	<b>57</b>
<b>ANEXO C</b> .....	<b>61</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O debate que envolve o sistema econômico e as emissões dos gases de efeito estufa (GEE) tem adquirido grande relevância nas discussões sobre o crescimento econômico nos últimos anos.

A questão da mudança climática que tem sido verificada vem demonstrando, cada vez mais, a importância da atividade humana nesse processo. O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) aponta que são as emissões de gases do efeito estufa (GEE), geradas pela queima de combustíveis fósseis em processos produtivos e de consumo, as principais causadoras da aceleração das alterações climáticas verificadas nos últimos tempos.

De acordo com o BNDES (1999), o dióxido de carbono, metano e óxido nitroso são os contribuintes gasosos da atmosfera que mais têm sido discutidos. No entanto, atenção prioritária tem sido dedicada ao dióxido de carbono, uma vez que o volume de suas emissões para a atmosfera representa algo em torno de 55% do total das emissões de gases de efeito estufa e o tempo de sua permanência na atmosfera é de pelo menos 10 décadas.

O CO<sub>2</sub> distribuído na atmosfera age como a cobertura de uma estufa sobre o planeta, permitindo a passagem da radiação solar, mas evitando a liberação da radiação infravermelha emitida pela Terra.

Com vistas à manutenção do equilíbrio térmico, a Terra emite para o espaço a mesma proporção de energia que recebe de radiação solar. A radiação incidente atravessa as diversas camadas da atmosfera e seu retorno ocorre na forma de radiações térmicas de grande comprimento de onda ou calor, que são absorvidas pelo CO<sub>2</sub>. Somando-se ao processo natural, as atividades do homem, também denominadas antrópicas, tem-se como resultado contribuições adicionais de gases de efeito estufa, acentuando a concentração dos mesmos na atmosfera e, conseqüentemente, ampliando a capacidade de absorção de energia que naturalmente já possuem (BNDES, 1999).

As emissões antrópicas de CO<sub>2</sub>, o gás que mais contribui para a intensificação do efeito estufa, decorrem principalmente da queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural), em usinas termelétricas e indústrias, veículos em circulação e sistemas domésticos de aquecimento.

A partir desse contexto, este trabalho pretende analisar a relação entre o crescimento da renda per capita – considerado como aumento do PIB per capita dos países – e a evolução das emissões de CO<sub>2</sub> para diversos países, tendo como hipótese a Curva de Kuznets Ambiental.

A hipótese denominada Curva de Kuznets Ambiental (CKA) trata da existência de uma relação em formato de “U” invertido entre renda per capita e poluição e sugere que o trade-off entre o crescimento econômico e a poluição é mais uma questão do estágio econômico no qual determinada economia se encontra do que uma impossibilidade absoluta de “crescimento limpo”. Isso quer dizer que, enquanto economias menos desenvolvidas se encontram no trecho ascendente da curva, crescendo às custas de maiores danos ambientais, as economias desenvolvidas crescem com base em um novo formato de desenvolvimento, com tecnologias mais limpas, que levam a economia ao trecho descendente da curva.

A contribuição dos países para as emissões de gases com efeito de estufa que se acumulam na atmosfera varia muito. Representando 15 % da população mundial, os países ricos contam com quase metade das emissões de CO<sub>2</sub>. O grande crescimento na China e na Índia está a conduzir uma convergência gradual em emissões totais. Contudo, a convergência das pegadas de carbono per capita é mais limitada. As emissões de carbono dos Estados Unidos são cinco vezes maiores do que as da China e 15 vezes maiores do que as da Índia (ONU, 2007). De acordo com o Ministério de Agricultura, Pesca e Abastecimento (2013), existe um consenso de que os maiores emissores de gases responsáveis pelo efeito estufa são Estados Unidos, União Europeia, China, Rússia, Japão e Índia. Entre essas nações, os Estados Unidos lideram as emissões per capita. Já a China ultrapassou os norte-americanos em termos de emissões absolutas no ano de 2006. Isso quer dizer que, apesar de a China emitir mais gases do efeito estufa que os EUA, cada chinês polui menos que cada americano. Esse consenso permite justificar o fato de que os países selecionados para a análise sejam Brasil, China, Estados Unidos e Alemanha – como representante da União Europeia –. Os dois primeiros como representantes dos BRIC – países em desenvolvimento –, e Estados Unidos e Alemanha como representantes dos países desenvolvidos.

Dessa forma, o objetivo do presente trabalho é testar empiricamente a hipótese da CKA para Brasil, China, Estados Unidos e Alemanha no período de 1971 a 2009, relacionando as emissões de CO<sub>2</sub> e o PIB per capita de cada um dos países selecionados. Assim, serão testadas a abordagem tradicional da CKA, a qual se apresenta com formato de U-invertido e uma abordagem alternativa, que apresenta a relação entre crescimento econômico e danos ambientais com formato de N, e sugere que após certo nível de renda, haveria um novo ponto de inflexão que tornaria a trajetória da curva ascendente novamente, sugerindo que a degradação ambiental voltaria a aumentar em altos níveis de crescimento.

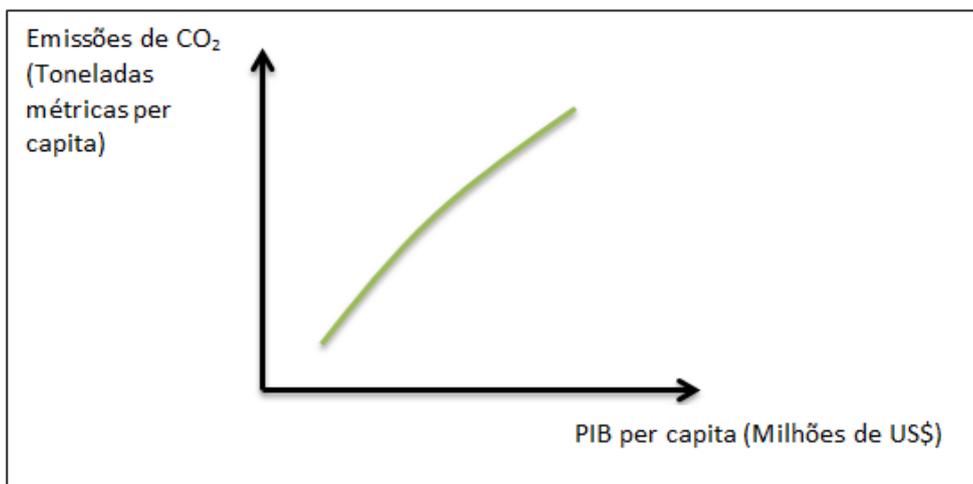
Para alcançar o objetivo proposto o presente trabalho será disposto da seguinte maneira: no capítulo dois apresenta-se o referencial teórico referente à CKA em suas diversas

abordagens, no capítulo três serão analisados a trajetória de crescimento dos países selecionados bem como a sua relação com as emissões de CO<sub>2</sub> e as fontes de energia predominantemente utilizadas no processo de crescimento de cada um dos países; no capítulo quatro será apresentada a metodologia proposta para a presente análise; no quinto capítulo serão apresentados os resultados encontrados; e por fim são apresentadas algumas discussões e conclusões.

## 2 RELAÇÃO ENTRE O CRESCIMENTO ECONÔMICO, E AS EMISSÕES DE CO<sub>2</sub>: A HIPÓTESE DA CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL

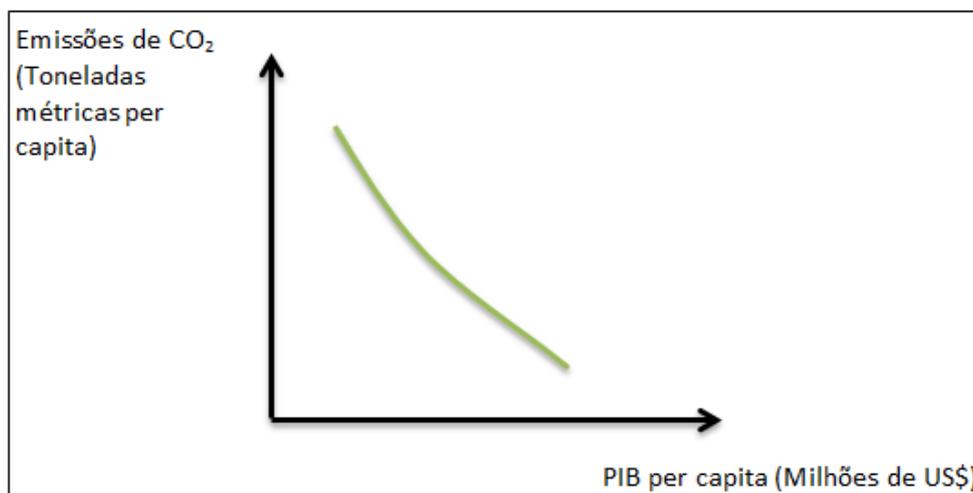
O debate envolvendo o sistema econômico e as emissões de GEE vem adquirindo relevância nas discussões sobre o crescimento econômico. De acordo com Tuan (1999) a questão central a ser respondida é: o crescimento econômico deve continuar a ser prioridade e a proteção ambiental uma questão secundária que deve ser resolvida mais tarde? Ou será que as políticas ambientais para controlar a degradação ambiental tanto em âmbito local, nacional quanto global representam uma prioridade atualmente?

De acordo com De Bruyn et al. (1998), a relação entre a renda per capita e a pressão ambiental pode ser apresentada de várias maneiras. Em um primeiro nível, pode-se distinguir entre as curvas monotônicas e não-monotônicas. Curvas monotônicas podem mostrar tanto o aumento quanto a diminuição da poluição, com o aumento da renda (ver figura 1 e 2).



**Figura 1 - Relação linear monotônica crescente**

Fonte: Elaborado pela autora.



**Figura 2 - Relação linear monotônica decrescente**

Fonte: Elaborado pela autora.

Por outro lado, entre os as curvas não-monotônicas as que têm sido sugeridas com maior frequência são a curva com formato de U-invertido e curva a curva em forma de N, sendo estas distintas versões da conhecida Curva de Kuznets Ambiental que vão ser detalhadas mais adiante.

A chamada Curva de Kuznets Ambiental (CKA) – em sua versão com formato de U-invertido –, afirma que os aumentos de eficiência energética levariam, no longo prazo, a uma diminuição na utilização de energias poluidoras e como consequência traria uma diminuição das emissões de gases poluidores, levando os países a processos de crescimento econômico mais limpos e sustentáveis. A CKA em formato de N e sugere que após um nível muito elevado de renda que por diversos motivos discutidos mais adiante, haveria um novo ponto de inflexão que faria com que a curva tornasse a mostrar uma trajetória ascendente.

De acordo com Tuan (1999), na fase inicial de crescimento econômico, o aumento das emissões de poluentes é considerado como um aspecto inevitável e aceitável. Entretanto, a partir de um certo nível de renda, passa a se dar maior importância ao meio ambiente, tornando possível a criação de novas instituições e regulamentos para a proteção ambiental (TUAN, 1999).

O conceito de Curva de Kuznets Ambiental surgiu no começo da década de 1990, inspirado no trabalho original de Kuznets sobre a relação do crescimento econômico e a distribuição de renda. Os antecedentes da CKA bem como os primeiros trabalhos referentes a ela serão analisados a seguir.

## **2.1 Antecedentes e primeiros estudos realizados sobre a CKA**

A relação de “U invertido” foi observada originalmente por Kuznets em 1955. Nessa oportunidade, o objetivo do autor era relacionar o crescimento econômico com a distribuição de renda, por meio de observações realizadas para Estados Unidos, Grã-Bretanha e Alemanha.

O ponto central do trabalho de Kuznets (1955) era o caráter e as causas de longas alterações permanentes na distribuição pessoal da renda. Assim Kuznets se questionava se a desigualdade na distribuição do rendimento aumentava ou diminuía ao longo do processo de crescimento econômico de um país. Além disso, examinava quais seriam os fatores que determinavam o nível secular e as tendências das desigualdades de renda. A ideia consistia no fato de que a concentração de renda, verificada a partir da transformação de uma economia agrícola em uma economia industrializada, não se sustentaria por muito tempo. Aos poucos,

tal transformação conduziria a uma melhor distribuição de renda para as gerações futuras (KUZNETS, 1955).

Embora, segundo Kuznets, os dados de Estados Unidos, Inglaterra e Alemanha fossem amostralmente limitados, eles serviam como um ponto de partida para algumas inferências sobre mudanças de longo prazo nos países desenvolvidos. A conclusão geral, apresentada pelo autor, sugeria que a distribuição relativa de renda, medida pela incidência da renda anual em diferentes classes, ter-se-ia movido em direção à igualdade em virtude de tendências particularmente visíveis desde a década de 1920, cujo impulso, talvez, se houvesse iniciado no período que antecedeu a Primeira Guerra Mundial (KUZNETS, 1955).

Inspirado no trabalho original de Kuznets, o conceito de Curva de Kuznets Ambiental surgiu no começo da década de 1990, para descrever a trajetória que a poluição de um país seguiria como resultado do crescimento econômico. A partir dos trabalhos de Grossman e Krueger (1991) e Shafik e Bandyopadhyay (1992), começou-se a argumentar que, à semelhança da relação que Kuznets havia encontrado para distribuição de renda e produto ou renda per capita, a representação entre poluição e produto (per capita) se exprimia por meio de uma curva com formato de “U invertido”, que ficou conhecida como Curva de Kuznets Ambiental.

No seu trabalho em 1991, Grossman e Krueger estimaram a CKA para dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), matéria escura (fumaça fina) e partículas em suspensão (SPM), como parte de um estudo para avaliar o impacto do Acordo de Livre Comércio da América do Norte (NAFTA) no meio ambiente no México. Os dados foram obtidos a partir do Sistema de Monitoramento Ambiental Global (GEMS) divulgados pela Organização Mundial de Saúde (OMS). A lógica dos autores era a de que a redução das barreiras ao comércio em geral iria afetar o meio ambiente, ampliando a escala de atividade econômica, alterando a composição da atividade econômica, e acarretando uma mudança nas técnicas de produção. Dessa forma, apresentaram evidências empíricas para avaliar a importância relativa desses três efeitos que se aplicavam a uma maior liberalização comercial no México.

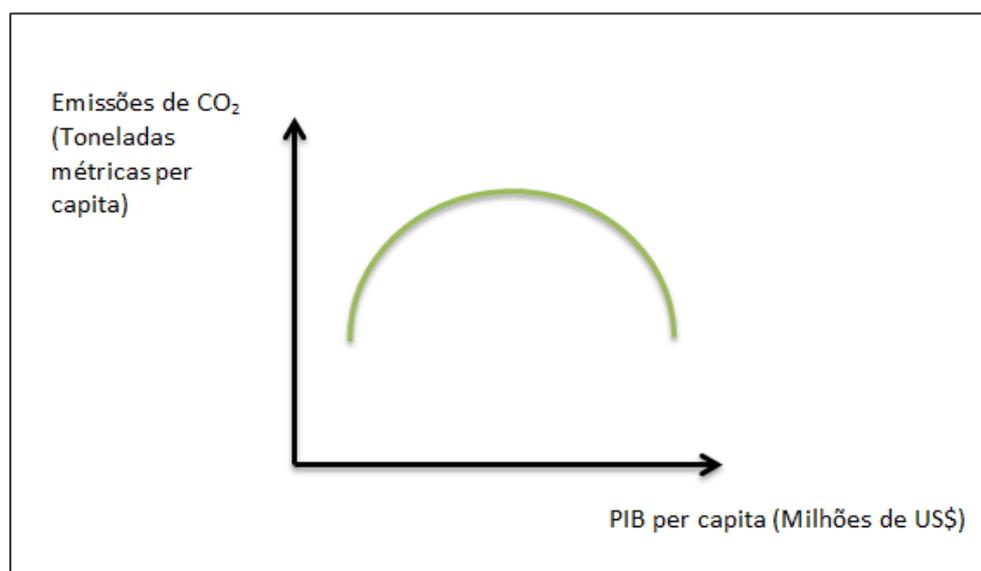
Grossman e Krueger (1991) utilizaram medidas comparáveis de três do ar poluentes – SO<sub>2</sub>, SPM e fumaça – em uma amostra de corte transversal de áreas urbanas localizadas em 42 países para estudar a relação entre a qualidade do ar e o crescimento econômico. Como resultado encontraram para dois poluentes (dióxido de enxofre e fumaça) uma relação de U-invertido sendo que as concentrações dos mesmos aumentavam com o PIB per capita em baixos níveis de renda nacional, mas diminuía com o crescimento do PIB em níveis mais elevados de renda.

A partir do estudo de Grossman e Kruger (1991) muitos outros estudos têm sido realizados na tentativa de examinar a relação entre renda per capita e danos ambientais. As variáveis de danos ambientais utilizadas com o objetivo de comprovar a CKA variam desde emissões de gases do efeito estufa, desmatamento, entre outras. Algumas das análises sobre a relação da CKA podem ser encontradas em Stern, Common e Barbier (1996) e Stern (2004).

Alguns estudos, como por exemplo, os realizados por Cropper e Griffiths (1994), chegam às mesmas conclusões quanto à existência de CKA. A falta de consenso se encontra, entretanto, na explicação referente ao trecho decrescente da curva.

## 2.2 A análise da Curva de Kuznets Ambiental

A Curva de Kuznets Ambiental (CKA) apresenta uma trajetória bem definida, com um trecho ascendente e outro decrescente, como pode ser verificado por meio da Figura 3. Nas fases iniciais de crescimento da economia de qualquer país, a poluição aumenta, não só porque a expansão da produção gera mais emissões de poluentes, mas também porque o crescimento econômico é posto à frente do controle da degradação ambiental. À medida que o país alcance suficiente grau de afluência, sua prioridade muda para preservação da qualidade ambiental, o que o conduz ao trecho decrescente da curva (CARVALHO e ALMEIDA, 2010).



**Figura 3 - Exemplo de uma Curva de Kuznets Ambiental em formato de U-invertido**

Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme a CKA, os países passariam por estágios de desenvolvimento regidos pelas forças de mercado e por mudanças na regulação governamental. Em um primeiro momento, a economia é marcada pela transição de uma economia agrícola para uma economia industrial, fazendo com que o crescimento econômico implique uma pressão cada vez maior sobre o meio ambiente, resultado da criação e ampliação do parque industrial. O segundo momento desse processo seria caracterizado pela manutenção da sociedade e da infraestrutura industrial. Nesse ponto, o atendimento das necessidades básicas permite o crescimento de setores menos intensivos em recursos e poluição, e as melhorias técnicas começam a reduzir a intensidade de matéria/energia e rejeitos da produção. Por fim, no terceiro momento, ocorreria um “deslocamento” entre o crescimento econômico e a pressão sobre o meio ambiente, uma vez que um aumento do primeiro não mais implica um aumento do segundo (CARVALHO E ALMEIDA, 2010).

De acordo com essa ideia, países em desenvolvimento, de menor renda, preferem o crescimento econômico ao controle dos danos ambientais. Encontram-se no trecho ascendente da curva, dado que utilizam no seu processo de produção tecnologias mais baratas e poluidoras. Tampouco se preocupam com a questão ambiental, nem com um marco legal que os obrigue a se adaptar a processos produtivos mais limpos. Por outro lado, os países desenvolvidos, cuja renda é maior, têm acesso a tecnologias menos poluidoras. Encontram-se no trecho decrescente da curva, visto que já alcançaram um grau de afluência tal que seu principal objetivo não consiste mais em atingir crescimento econômico a qualquer custo.

Grossman e Krueger (1991) relacionam as mudanças nas inclinações da CKA aos efeitos-renda (ou efeito-escala), composição e tecnologia. O efeito-renda ocorre devido à pressão negativa do aumento da renda sobre o meio ambiente, ou seja, à medida que a renda aumenta, a degradação do ambiente também se eleva. O efeito-composição atenua a degradação ambiental, uma vez que a cadeia produtiva do país se reestrutura, voltando-se para setores menos intensivos em poluição – como setor de serviços, por exemplo. O efeito-tecnologia também é responsável por diminuir o impacto ambiental e acontece quando o progresso tecnológico propicia um processo produtivo mais eficiente no uso dos recursos, reduzindo o dano ambiental. Logo, a curva passa a apresentar uma inclinação negativa no momento em que os efeitos composição e tecnologia se sobrepõem ao efeito-renda. O ponto em que os efeitos se anulariam seria o ponto de inflexão da curva.

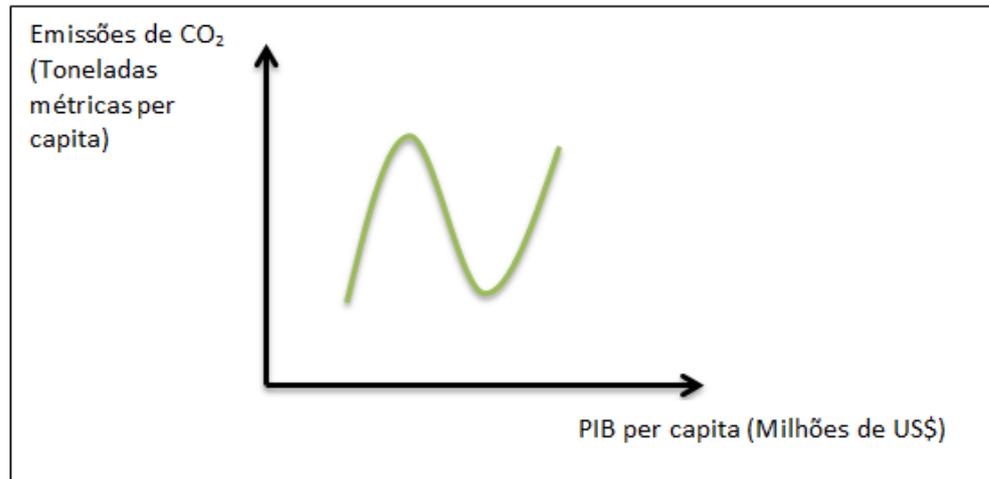
Essa análise sugere que, enquanto os países em desenvolvimento estão tentando crescer a qualquer custo, sem se importar com questões ambientais, os países desenvolvidos, já alcançaram um grau de riqueza considerável. A renda superior desses últimos lhes confere

efeitos composição e tecnologia maiores do que o efeito-renda. Como o aumento da renda não é mais uma prioridade a ser alcançada a qualquer custo, o país volta a sua cadeia produtiva para setores menos intensivos em poluição e adquire equipamentos menos poluidores. Além disso, as leis ambientais se tornam mais severas e efetivas. Tudo isso contribui para uma redução das taxas de poluição e das emissões de CO<sub>2</sub>.

Uma das críticas feitas à abordagem da Curva de Kuznets Ambiental diz respeito justamente ao trecho descendente da curva. De acordo com Grossman e Krueger (1995), no trecho descendente da curva, os países deixariam de produzir bens intensivos em poluição passando a importá-los, ou transmigrariam suas plantas produtivas intensivas em poluição para países em desenvolvimento, nos quais as regulamentações ambientais fossem menos rígidas. Esse é um artifício que não poderá ser replicado pelos países em desenvolvimento, porque, quando eles chegarem a ser desenvolvidos, não haverá outros países dispostos a acolher suas plantas intensivas em poluição. Assim sendo, a degradação ambiental não estaria diminuindo, mas sendo exportada, o que não poderá acontecer indefinidamente. Entretanto, esta questão da exportação de poluição não será objeto de estudo do presente trabalho.

Outra crítica feita à hipótese da CKA é que, embora possa existir a curva no formato de U invertido, o tempo necessário para se retornar a um nível de qualidade ambiental desejável pode ser muito longo, e o conhecimento a respeito desse tempo é primordial para se fazerem inferências (SANTOS, 2009). Esse problema envolve também, de acordo com ARROW et al. (1995), a questão do efeito limiar, uma vez que um ponto de reversão muito alto pode atingir um nível ambientalmente irreversível. Daí por que ser importante identificar os pontos de reversão.

Ainda de acordo com Arrow et al. (1995), a relação de U invertido não é válida para o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), dado que este é um poluente persistente no longo prazo e seus custos são mais dispersos. Ansuategui e Escapa (apud Santos, 2009) atribuíram esse comportamento do CO<sub>2</sub> ao fato de que esse poluente gera uma desutilidade global e não local. Os países têm poucos incentivos para executar um esquema unilateral de controle de poluição.



**Figura 4 - Exemplo da Curva de Kuznets Ambiental em formato de N**

Fonte: Elaborado pela autora.

Além disso, alguns autores, como De Bruyn et al. (1998) argumentam que a CKA não se sustenta no longo prazo. O formato de “U” invertido seria apenas um estágio inicial da relação entre crescimento econômico e pressão ambiental. Após certo nível de renda, haveria um novo ponto de inflexão que tornaria a trajetória ascendente novamente, e o formato da CKA seria similar ao de um “N”, sugerindo que a degradação ambiental voltaria a aumentar em altos níveis de crescimento, o que se justificaria pelo fato de que maiores níveis de renda per capita elevariam o consumo em termos absolutos, ainda que eles se reduzissem em termos per capita (ver Figura 4).

De um ponto de vista econométrico, a literatura da CKA ofereceu evidências consideráveis sobre a relação entre o crescimento econômico e poluição ambiental sinalizando que a hipótese da CKA é amplamente satisfeitas para os poluentes locais como óxidos de azoto, dióxido de enxofre e de metais pesados. Entretanto, os resultados empíricos para o CO<sub>2</sub> estão longe de ser conclusivos (Carson, 2010).

Este fato se torna relevante dado o papel crucial que o CO<sub>2</sub> tem como um dos principais gases determinantes do efeito estufa. Há diversas razões para este resultado controverso. De acordo com William e Gregory (1997) as emissões de poluentes crescem na baixa renda porque os agentes não estão dispostos a sacrificar o seu consumo em favor de um aumento do investimento na qualidade ambiental. A qualidade ambiental é comparada pelos autores a um bem de luxo e, como tal, só é obtido em altos níveis de renda dado que os agentes só estarão dispostos a negociar o consumo de melhorias ambientais quando tiverem uma renda suficientemente elevada. Além disso, seria de se esperar que o público exigisse controles ambientais sobre aqueles poluentes mais tóxicos e nocivos que criam maior

desutilidade a nível local, o que não é o caso do CO<sub>2</sub>. O CO<sub>2</sub> é um poluente especial na medida em que cria uma desutilidade global, e não local. As propriedades químicas e físicas do CO<sub>2</sub>, incluindo a sua não toxicidade, as suas concentrações atmosféricas e seus impactos espaciais e temporais tornam improvável que os agentes exijam medidas de controle como resultado dos problemas locais. Dessa forma a natureza global da externalidade gerada pelo CO<sub>2</sub> torna mais difícil para as pessoas afetadas configurar os incentivos de redução e mecanismos políticos e regulamentares adequados, fazendo com que falte aos países incentivos para reduzir suas emissões, dado que as políticas individuais não podem resolver o problema global através de uma ação unilateral (WILLIAM e GREGORY, 1997).

As trajetórias de crescimento dessas emissões bem como da o crescimento da renda e a evolução das diferentes fontes energéticas utilizadas pelos diversos países analisados entre 1971 e 2009, serão analisados no próximo capítulo.

### **3 A RELAÇÃO ENTRE O CRESCIMENTO DA RENDA, AS EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> E AS PRINCIPAIS FONTES DA MATRIZ ENERGÉTICA DOS PAÍSES DESENVOLVIDOS E EM DESENVOLVIMENTO**

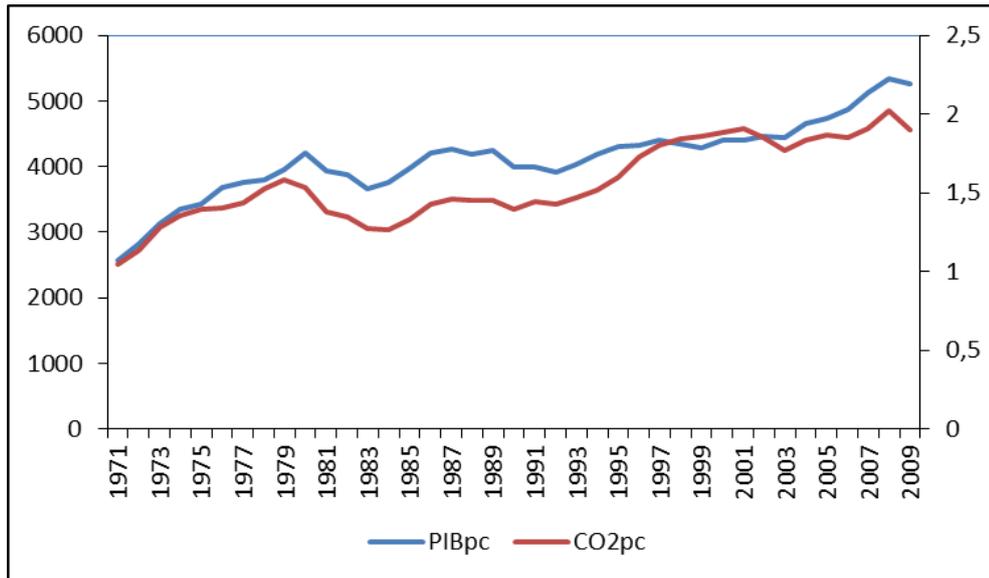
A relação entre o crescimento econômico (aumento do PIB) e as emissões de CO<sub>2</sub> apresenta distintas tendências dependendo do estágio de desenvolvimento de cada país. Em geral, espera-se que o crescimento econômico nos países desenvolvidos seja acompanhado de uma diminuição das emissões de CO<sub>2</sub>, por se supor que tais países empreguem tecnologias de produção menos poluidoras e maior quantidade de recursos, o que lhes permite ter um processo de crescimento mais limpo.

Nos países em desenvolvimento, por outro lado, o que se espera é que o processo de crescimento econômico traga consigo um aumento das emissões de CO<sub>2</sub> dada a sua tecnologia mais poluidora.

Nos países analisados no presente trabalho (Brasil, China, Estados Unidos e Alemanha), há diferenças na relação entre o crescimento econômico e as emissões de CO<sub>2</sub>. A seguir será apresentada a evolução do PIBpc e as emissões de CO<sub>2</sub> de cada um dos países analisados, bem como alguns dados sobre a matriz energética de cada um, para poder ilustrar melhor o essa relação.

#### **3.1 Brasil**

De acordo com os dados extraídos do Banco Mundial (2012), entre 1971 e 2009, a economia brasileira passou de um Produto Interno Bruto per capita de US\$2.577,30 para US\$5.271,14. As suas emissões de CO<sub>2</sub> per capita passaram, no mesmo período, de 1,04 toneladas métricas per capita em 1971, para 1,90 em 2009 demonstrando que a renda do país tem crescido, quase que invariavelmente, acompanhadas pelo crescimento das emissões de CO<sub>2</sub> (Ver Figura 5 e Anexo A.1).



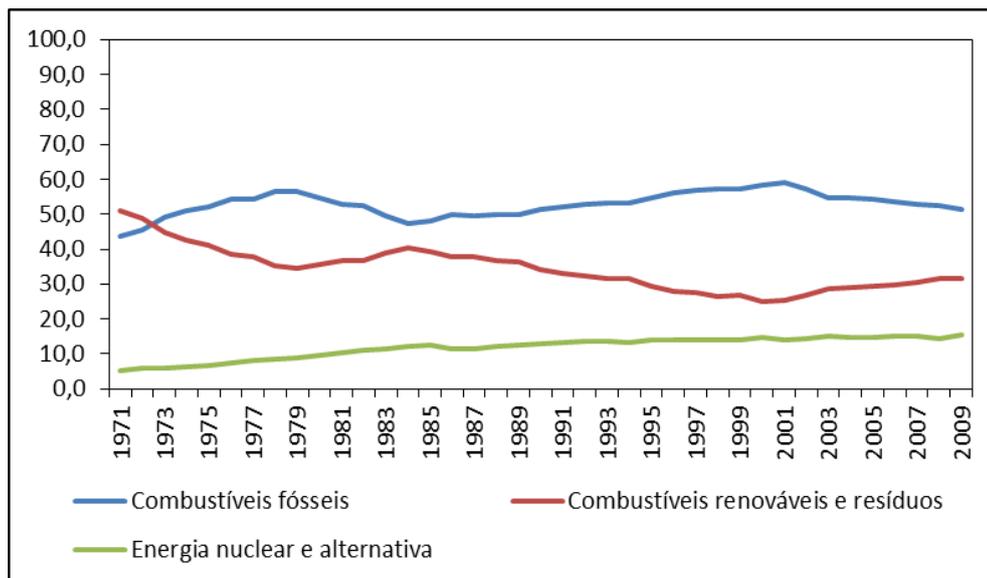
**Figura 5 - PIB e CO<sub>2</sub> para o Brasil, em termos per capita, entre 1971 e 2009, a preços de 2000**

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do Banco Mundial, 2012.

De acordo com o EIA (2012), o Brasil é o nono maior consumidor de energia do mundo e o terceiro maior do hemisfério ocidental, ficando atrás apenas dos Estados Unidos e do Canadá. O consumo total de energia primária no Brasil aumentou em cerca de um terço na última década, devido ao seu crescimento econômico. Além disso, o Brasil fez grandes progressos no aumento da sua produção total de energia, principalmente petróleo e etanol, as fontes de energia mais relevantes da sua matriz produtiva, embora continue sendo majoritariamente dependente de combustíveis de origem fóssil como o petróleo (ver Figura 6).

Como pode ser verificado pela Figura 6 e Tabela B.1, entre 1971 e 2009 a matriz energética do Brasil apresentou uma inversão na sua principal fonte de energia. Em 1971, o Brasil tinha os combustíveis renováveis como sua fonte mais importante (51% contra 43,6% dos combustíveis de origem fóssil), passando a partir de 1973 a ter os combustíveis de origem fóssil como sua fonte principal (49,3% contra 44,6% dos combustíveis renováveis) até chegar, em 2009, a ter 51,4% das suas fontes energéticas derivada de combustíveis de origem fóssil e apenas 31,6% de combustíveis renováveis (BANCO MUNDIAL, 2013).

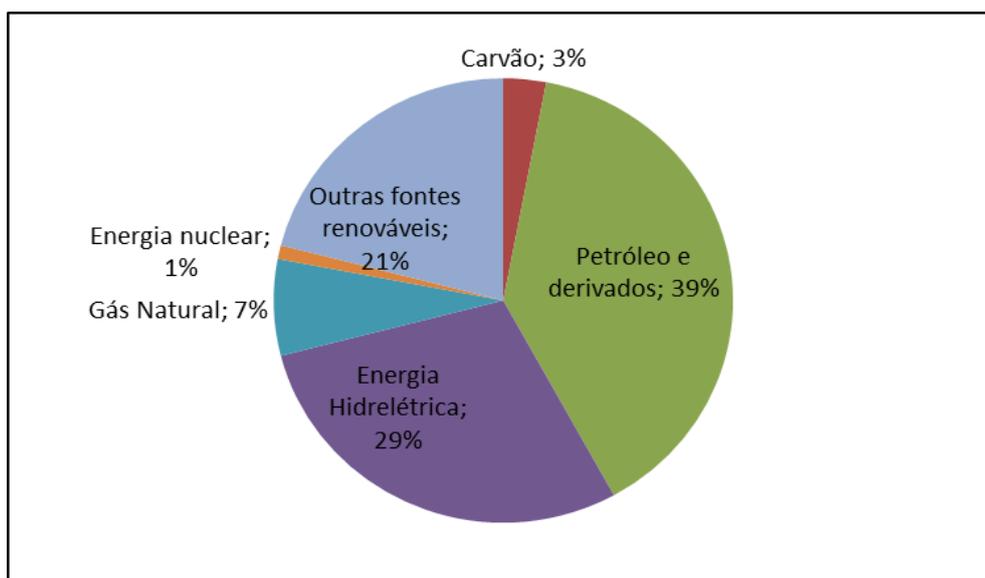
Essa inversão na matriz energética de combustíveis renováveis para combustíveis de origem fóssil pode ajudar a explicar o aumento nas emissões de CO<sub>2</sub> do país nesse período dado que são os combustíveis de origem fóssil os maiores responsáveis pelo aumento nas emissões de CO<sub>2</sub>.



**Figura 6 - Fontes de energia consumidas, em % do total, para o Brasil, entre 1971 e 2009**

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do Banco Mundial, 2013.

De acordo com o EIA (2012), em 2009, da energia primária total consumida no Brasil, a maior parte 39% provinha de Petróleo e seus derivados. Fontes renováveis e a energia hidrelétrica eram responsáveis por 21% por 29% do total respectivamente. Os outros 9% do total da energia primária consumida no país são divididos entre o carvão, a energia nuclear e o gás natural (ver Figura 7).



**Figura 7 - Energia primária total consumida por tipo para o Brasil em 2009**

Fonte: EIA (2012).

Embora a matriz produtiva do Brasil seja majoritariamente dependente de combustíveis de origem fóssil como o petróleo, também utiliza energia hidrelétrica e fontes energéticas renováveis em seu processo de crescimento, o que torna o seu crescimento mais limpo do que o de países como a China, a qual tem no carvão – um combustível altamente poluidor – a sua maior fonte de energia (EIA, 2012).

### **3.2 China**

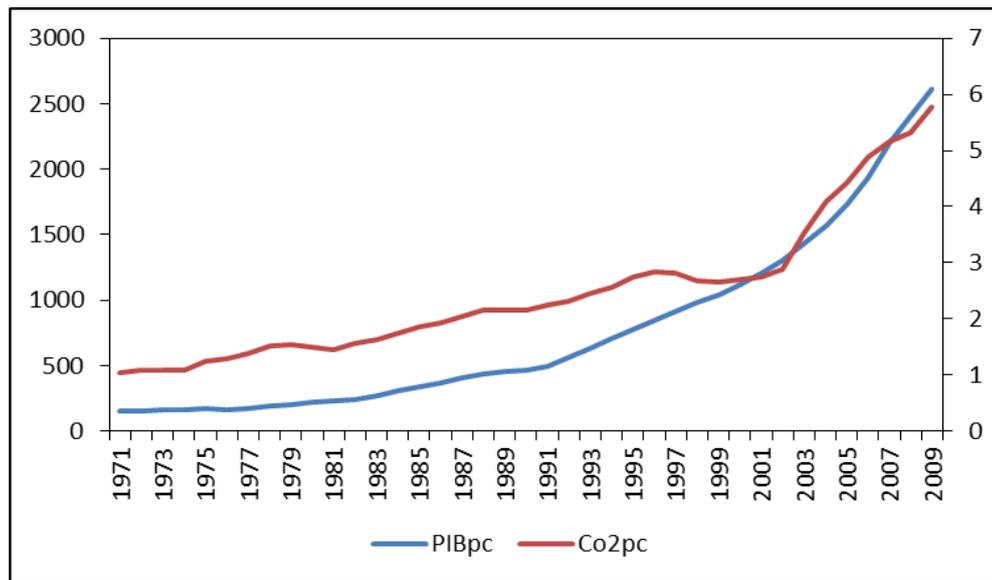
Desde a abertura econômica no final da década de 1970, a economia chinesa tem crescido a um ritmo de cerca de 10% ao ano. O consumo energético, apesar de a um ritmo mais lento, tem conseqüentemente também aumentado, fazendo com que em 2009 a China se tornasse o maior consumidor mundial de energia.

Além disso, de acordo com EIA (2012), a China se transformou, em 2009, dada a sua crescente demanda por energia, no segundo maior importador mundial de petróleo do mundo, atrás apenas dos Estados Unidos após ter sido, até o início da década de 1990 o maior exportador líquido de petróleo.

Embora o uso de gás natural esteja aumentando rapidamente na China, o combustível ainda compunha menos de quatro por cento do consumo total de energia primária do país em 2009, sendo que a principal fonte de energia na China é ainda o carvão vegetal.

A China é o maior produtor e consumidor de carvão do mundo, e é responsável por quase metade do consumo de carvão do mundo sendo que este é o maior responsável da energia total consumida no país. A geração de eletricidade também continua a ser dominada por fontes de combustíveis fósseis, especialmente pelo carvão.

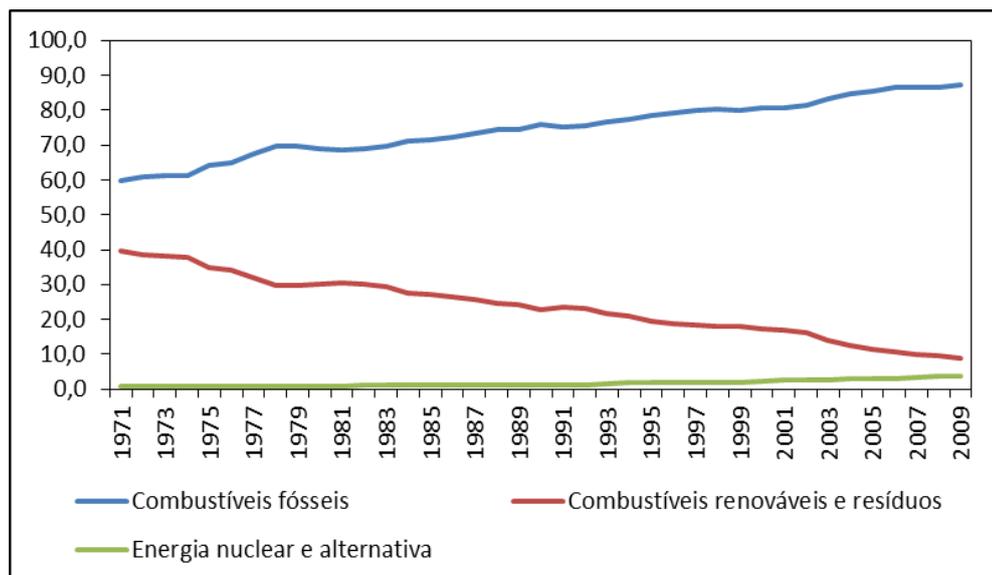
Entre 1971 e 2009, o PIBpc da China passou de US\$150,52 para US\$2.611,40 enquanto que as emissões de CO<sub>2</sub>pc passaram de 1,04 toneladas métricas per capita para 5,77 toneladas métricas per capita (ver Figura 8 e Tabela A.2).



**Figura 8 - PIB, FBKF e CO<sub>2</sub> para a China, em termos per capita, entre 1971 e 2009, a preços de 2000**

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do Banco Mundial, 2012.

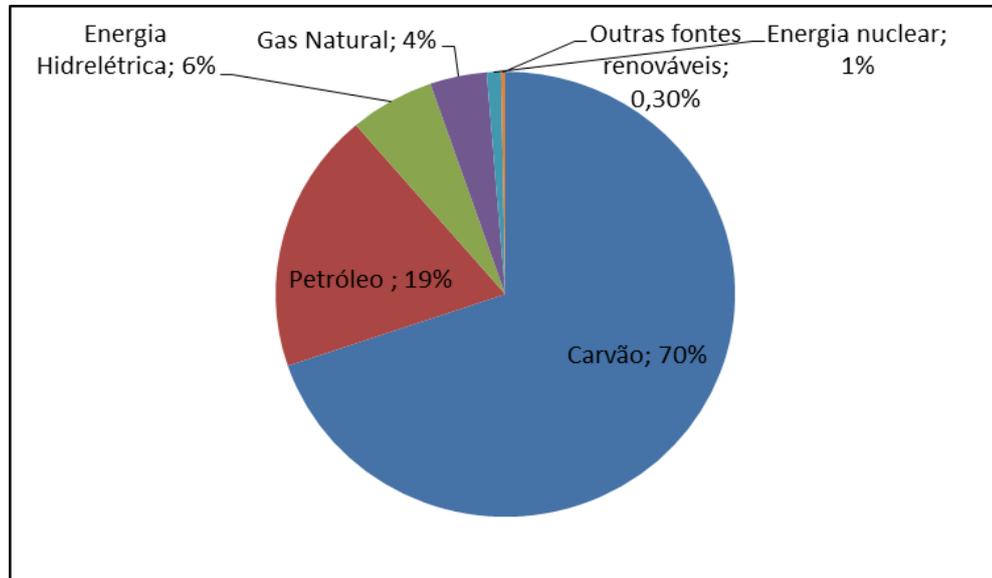
A análise das principais fontes de energia da China demonstra que ao longo do período a energia renovável vem sendo substituída pela energia de origem fóssil. Em 1971 os combustíveis renováveis eram responsáveis por 39,5% de toda a energia consumida na China enquanto que os combustíveis de origem fósseis eram responsáveis por 59,8% do total de combustíveis consumidos. Embora nessa época, os combustíveis de origem fóssil já fossem a maior fonte de energia do país a sua importância continuou aumentando.



**Figura 9 - Fontes de energia consumidas, em % do total, para a China, entre 1971 e 2009**

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do Banco Mundial, 2013.

Em 2009, 87,3% de toda a energia consumida na China provinha dos combustíveis de origem fóssil, enquanto que apenas um 9,0% provinha de energia renovável (ver Figura 9 e Tabela B.2).



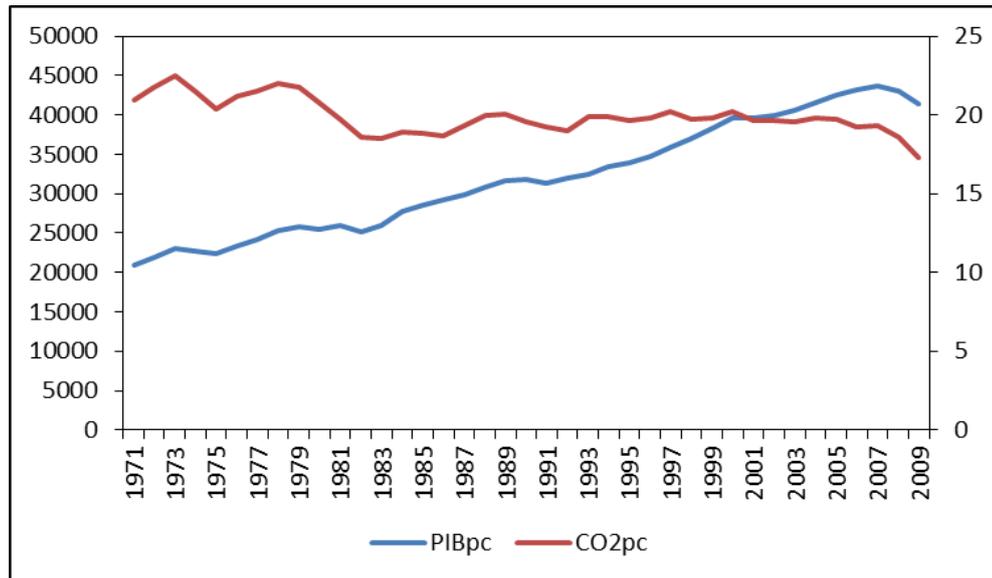
**Figura 10 - Energia primária total consumida por tipo para a China em 2009**

Fonte: EIA, 2012.

Essa substituição de combustíveis renováveis por combustíveis de origem fóssil torna a matriz energética da China muito mais suja e poluidora. De acordo com o IEA (2012), somente em 2009, o carvão foi responsável por 70% da energia primária consumida pelo país. As energias renováveis são responsáveis por uma parcela muito pequena da energia total consumida no país (ver Figura 10).

### 3.3 Estado Unidos

Nos Estados Unidos a trajetória do PIBpc demonstrou um crescimento constante no período analisado, passando de US\$20.991,42 em 1971 para US\$41.366,29 em 2009. A trajetória das emissões de CO<sub>2</sub> per capita, por outro lado apresenta recorrentes oscilações finalizando em 2009 com um valor inferior ao que apresentava em 1971 –17,27 toneladas métricas per capita em 2009 contra 20,98 toneladas métricas per capita em 1971 – (ver Figura 11 e Tabela A.3).

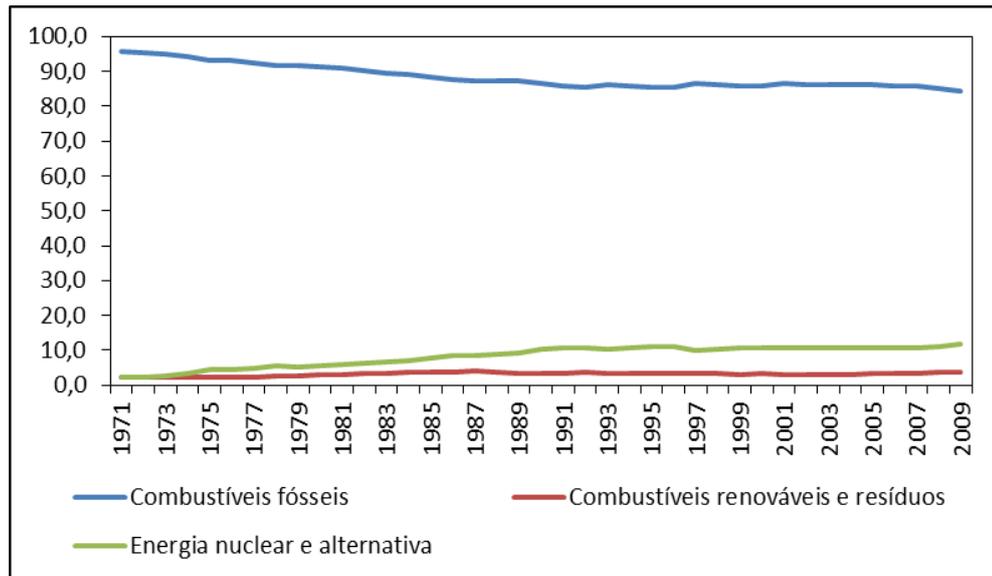


**Figura 11 - PIB e CO<sub>2</sub> para a Estados Unidos, em termos per capita, entre 1971 e 2009, a preços de 2000**

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do Banco Mundial, 2012.

As fontes energéticas utilizadas nos Estados Unidos tem, assim como na China, sofrido uma substituição, só que no caso dos Estados Unidos, a substituição tem sido no sentido de tornar a matriz energética do país mais limpa.

Nos Estados Unidos, ao contrário do que se verificou na China, a energia proveniente de combustíveis fósseis vem diminuindo sua importância relativa e vem sendo substituída por energia proveniente de combustíveis renováveis e resíduos, e principalmente por energia nuclear e outras energias alternativas.



**Figura 12 - Fontes de energia consumidas, em % do total, para os Estados Unidos, entre 1971 e 2009**

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do Banco Mundial, 2013.

Em 1971, os combustíveis fósseis eram 95,6% do total das fontes de energia consumidas, enquanto que os combustíveis renováveis constituíam um 2,2% e a energia nuclear e alternativas um 2,1% do total. Em 2009, esse cenário se inverteu e os combustíveis fósseis foram responsáveis pelo 84,2% do total das fontes de energia consumidas no país, enquanto que os combustíveis renováveis ficavam com um 3,9% e a energia nuclear e alternativas passaram a ser responsáveis por 11,8% do total de combustíveis consumidos (ver Figura 12 e Tabela B.3).

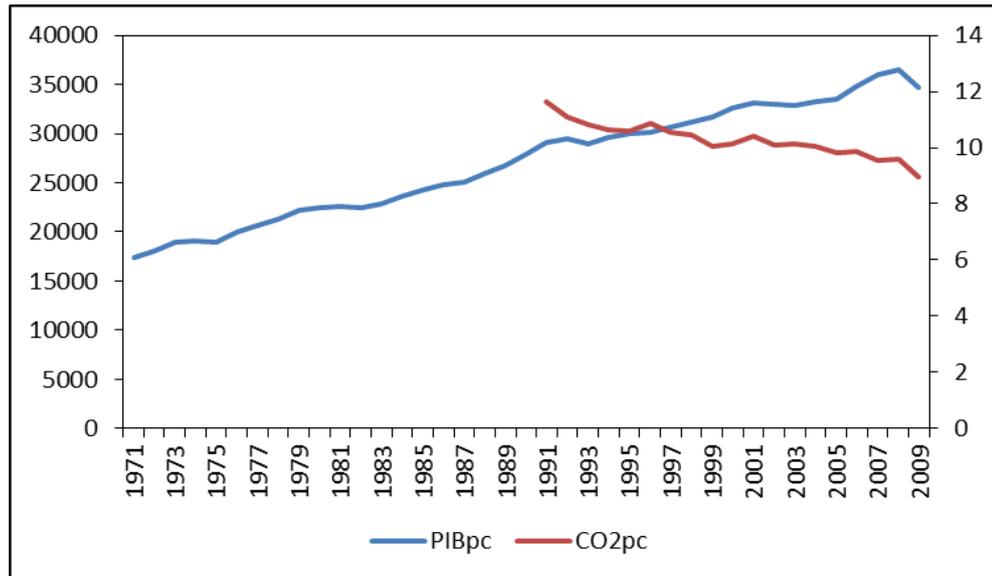
### 3.4 Alemanha

De acordo com a EIA (2013) a Alemanha é o maior consumidor de energia na Europa, (não incluindo a Rússia), e o sétimo maior consumidor de energia do mundo. É também a quarta maior economia do mundo em PIB nominal, depois dos Estados Unidos, China e Japão. Seu tamanho e localização lhe dão uma influência considerável sobre o setor de energia da União Europeia. No entanto, a Alemanha deve depender das importações para atender a maioria de sua demanda de energia.

Embora o carvão seja o recurso energético mais abundante da Alemanha, o seu papel como fonte de energia do país, embora significativo, tem vindo a diminuir progressivamente ao longo do tempo.

As trajetórias do PIBpc e as emissões de CO<sub>2</sub> da Alemanha tem se mostrado opostas uma a outra. Enquanto o PIBpc da Alemanha demonstrou uma trajetória crescente durante

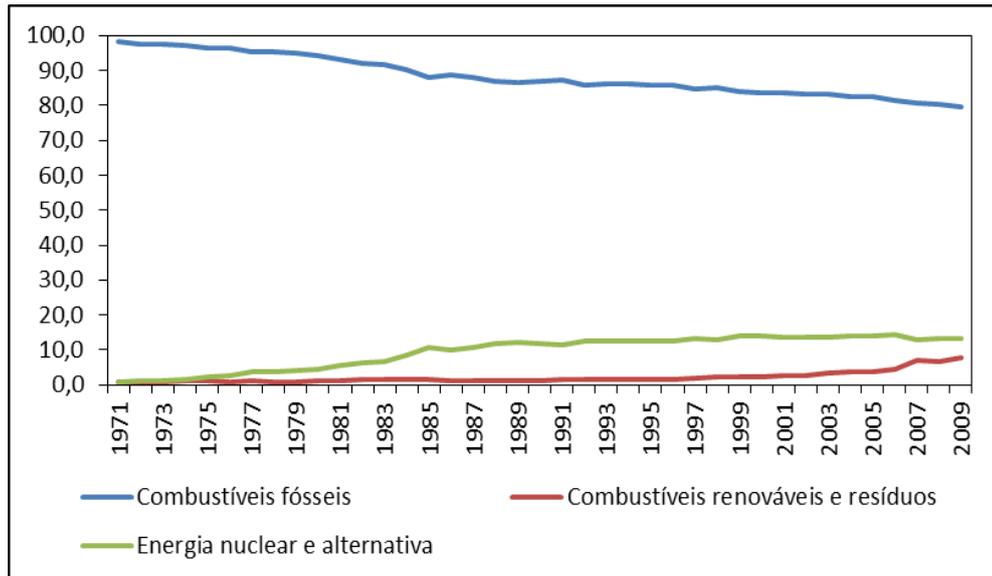
todo o período analisado (passando de US\$ 17.430,92 em 1971 para US\$ 34.686,97 em 2009), as emissões de CO<sub>2</sub>pc apresentaram uma trajetória decrescente. Os dados sobre as emissões de CO<sub>2</sub>pc estão disponíveis apenas a partir de 1991, ano a partir do qual mostraram constante decréscimo passando de 11,63 toneladas métricas per capita em 1991 para 8,97 em 2009 (ver Figura 13 e Tabela A.4).



**Figura 13 - PIB, FBKF e CO<sub>2</sub> para a Alemanha, em termos per capita, entre 1971 e 2009, a preços de 2000**

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do Banco Mundial, 2012.

Esse decréscimo das emissões de CO<sub>2</sub>pc na Alemanha pode ser explicado pela substituição da energia proveniente de combustíveis de origem fóssil mais poluidores por energia proveniente dos combustíveis renováveis e principalmente pela energia nuclear e energia alternativa ocorrida entre 1971 e 2009. Em 1971, a energia proveniente dos combustíveis de origem fóssil era 98,1% do total da energia consumida na Alemanha, enquanto que a energia proveniente de fontes renováveis e a energia nuclear e alternativa eram respectivamente 0,8% e 0,9% da energia total consumida.



**Figura 14 - Fontes de energia consumidas, em % do total, para a Alemanha, entre 1971 e 2009**

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do Banco Mundial, 2013.

Durante todo o período a matriz energética da Alemanha foi se tornando mais limpa e em 2009 a energia proveniente dos combustíveis de origem fóssil constituía um 79,4% da energia total. A energia proveniente dos combustíveis renováveis por outro lado passou a ser 7,8% e a energia nuclear e energia alternativa, consistiam em 13,1% do total da energia utilizada no país (ver Figura 14 e Anexo B.4).

A partir desses dados vai ser estimada a equação da CKA com o objetivo de verificar a sua aplicação, ou não, para os países analisados. A metodologia utilizada para alcançar esse objetivo será apresentada a seguir.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Modelo teórico

Para testar a relação entre as emissões de CO<sub>2</sub>pc e o PIBpc de cada um dos países selecionados, representada pela CKA em suas duas versões (formato de u-invertido e formato de N) será estimada a seguinte equação:

$$Y_i = \beta_1 X_i + \beta_2 X_i^2 + \beta_3 X_i^3 + u_i \quad (1)$$

A equação (1) nada mais é do que uma forma reduzida da equação testada por estudos como os de Shafik e Bandyopadhyay (1992) e Grossman e Krueger (1995). À diferença desses trabalhos, entretanto, o presente trabalho limitou a análise apenas a relação entre emissões de CO<sub>2</sub> e crescimento do PIBpc, deixando de fora outras variáveis eventualmente utilizadas pelos autores.

### 4.2 Modelo Empírico

Empiricamente será estimada a seguinte equação:

$$CO_2 = \beta_1 PIB_i + \beta_2 PIB_i^2 + \beta_3 PIB_i^3 \quad (1b)$$

onde: CO<sub>2</sub> são as emissões de dióxido de carbono em toneladas métricas per capita do país em questão, o PIB é o Produto Interno Bruto do país em questão, elevado ao quadrado e ao cubo (PIB<sup>2</sup> e PIB<sup>3</sup> respectivamente).

Se na equação 1b  $\beta_1 > 0$  e  $\beta_2 = \beta_3 = 0$  a relação entre o CO<sub>2</sub>pc e o PIBpc revela uma relação linear monotônica crescente, indicando que o aumento da renda per capita está associado com o aumento dos níveis de emissões de CO<sub>2</sub>pc;

se  $\beta_1 < 0$  e  $\beta_2 = \beta_3 = 0$  a relação entre o CO<sub>2</sub>pc e o PIBpc apresenta uma relação linear monótona decrescente, indicando que o aumento da renda per capita está associado com diminuições dos níveis de emissões de CO<sub>2</sub>pc;

se  $\beta_1 > 0$  e  $\beta_2 < 0$  e  $\beta_3 = 0$  a relação entre o CO<sub>2</sub>pc e o PIBpc revela uma relação quadrática, representando a CKA com formato de U-invertido; e

se  $\beta_1 > 0$ ,  $\beta_2 < 0$  e  $\beta_3 > 0$  a relação entre o CO<sub>2</sub>pc e o PIBpc revela um polinômio cúbico, o que representa a figura da CKA em formato de N.

A equação é estimada para Brasil, China, Estados Unidos e Alemanha<sup>1</sup>, entre 1971 e 2009.

### 4.3 Hipóteses

#### 4.3.1. CKA em formato de U-invertido

A Curva de Kuznets Ambiental em formato de U-invertido sugere uma relação quadrática entre o crescimento da renda per capita e os danos ambientais. De acordo com isso, os danos ambientais tendem a aumentar em economias com níveis de renda baixos e, à medida que o nível de renda vai crescendo os danos ambientais tendem a diminuir, principalmente pela capacidade dos países investirem mais em tecnologias que tornem o seu processo de crescimento mais limpo.

#### 4.3.2 A Curva de Kuznets Ambiental em formato de N

De acordo com autores como De Bruyn et al. (1998), a CKA com formato de U-invertido estaria mostrando apenas o estágio inicial da relação entre crescimento econômico e pressão ambiental porque após certo nível de renda muito elevados, haveria um novo ponto de inflexão que tornaria a trajetória ascendente novamente, e o formato da CKA seria similar ao de um “N”. Isso sugere que, embora em um principio o crescimento da renda levaria a uma redução nos danos ambientais, em níveis de renda muito elevados a degradação ambiental voltaria a aumentar.

### 4.4 Fonte dos dados

Os dados utilizados para a análise foram o PIB per capita em US\$ constantes a preços de 2000, e a Emissão de CO<sub>2</sub> em toneladas métricas per capita.

PIBpc a preços de 2000: o PIB per capita é o produto interno bruto dividido pela população do país na metade do ano. O PIB é a soma do valor agregado bruto de todos os produtos residentes na economia mais todo imposto aos produtos, menos todo o subsídio não incluído no valor dos produtos. É calculado sem fazer deduções por depreciação de bens

---

<sup>1</sup> Os valores das emissões de CO<sub>2</sub> para a Alemanha só são fornecido a partir de 1991. Para fins da estimação do modelo, nos anos onde não se possuía o valor exato das emissões foi incluída uma média de todas as observações que se possuía.

manufaturados ou por esgotamento e degradação de recursos naturais. Os dados estão expressos em dólares dos Estados Unidos a preços de 2000.

Emissão de CO<sub>2</sub> em toneladas métricas per capita: As emissões de dióxido de carbono são as que provem da queima de combustíveis de origem fóssil e da fabricação do cimento. Incluem o dióxido de carbono produzido durante o consumo de combustíveis sólidos, líquidos, gasosos e da queima de gás.

As séries foram retiradas em 2012 do banco de dados do Banco Mundial.

O software econométrico utilizado para estimar as regressões é o Stata 10.0.

## 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 5.1 Brasil

Os resultados da regressão estimada para testar a hipótese da CKA para o Brasil encontram-se na Tabela 1 a seguir:

**Tabela 1- Resultados da regressão da CKA estimada para o Brasil**

SOURCE	SS	Df	MS
<b>Model</b>	97.133797	3	32.3779323
<b>Residual</b>	.548285462	36	.015230152
<b>Total</b>	97.6820825	39	2.50466878

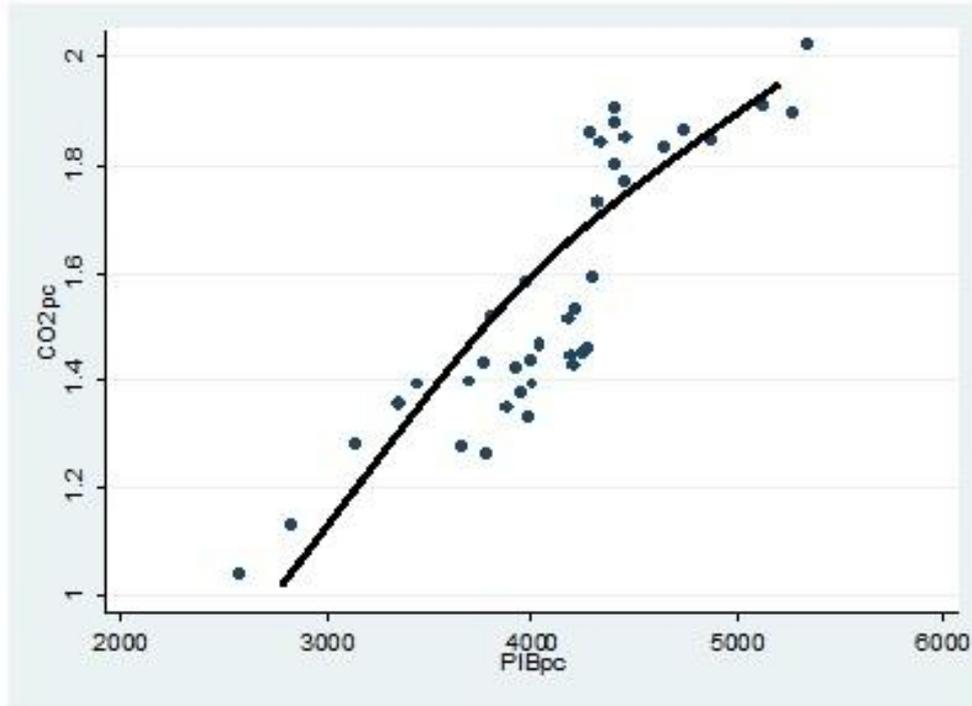
Co <sub>2</sub>	Coef.	Std. Err.	t	P <  t
<b>Pib</b>	.0004494	.000181	2.48	0.018
<b>Pib<sup>2</sup></b>	-3.38e-08	8.54e-08	-0.40	0.695
<b>Pib<sup>3</sup></b>	4.04e-12	1.00e-11	0.40	0.689

Fonte: Resultado de pesquisa, elaborado pela autora.

O resultado da equação estimada para o Brasil mostrou que, ao nível de 5% de significância somente o coeficiente  $\beta_1$  se mostrou significativo ( $\beta_2$  e  $\beta_3$  não são estatisticamente diferentes de zero), indicando que no caso do Brasil não se confirma a hipótese da CKA nem em formato de U-invertido, nem em formato de N. Neste caso, o que se tem é uma relação linear monotônica crescente, indicando que no Brasil, os aumentos no nível de renda per capita estão associados a aumentos dos níveis de emissões de CO<sub>2</sub> per capita ao longo de todo o período analisado.

Assim, a curva que representa a relação entre emissões de CO<sub>2</sub>pc e aumento do PIBpc para o Brasil pode ser apresentada por meio da equação (2) e a Figura 15 a seguir:

$$CO_2 = 0,0004PIBpc \quad (2)$$



**Figura 15 - Relação entre PIBpc e CO<sub>2</sub>pc estimada para o Brasil, entre 1971 e 2009**

Fonte: Resultado de pesquisa, elaborado pela autora.

A interpretação da regressão mostra que um aumento de US\$ 1 no PIBpc do Brasil provoca um aumento de 0,0004 toneladas métricas per capita nas emissões de CO<sub>2</sub> do país. Entretanto, não há nada que demonstre que a partir de certo nível de renda a trajetória das emissões de CO<sub>2</sub> se torne negativa, o que indica que a relação de emissões de CO<sub>2</sub>pc e crescimento do PIBpc no Brasil é uma relação linear monotônica crescente ao longo de todo o período analisado.

## 5.2 China

Os resultados da regressão estimada para a China se encontram na Tabela 2 a seguir:

**Tabela 2 - Resultados da regressão da CKA estimada para a China**

SOURCE	SS	Df	MS	
<b>Model</b>	292.27018	3	97.4233934	
<b>Residual</b>	4.83846528	36	.134401813	
<b>Total</b>	297.108645	39	7.61817039	

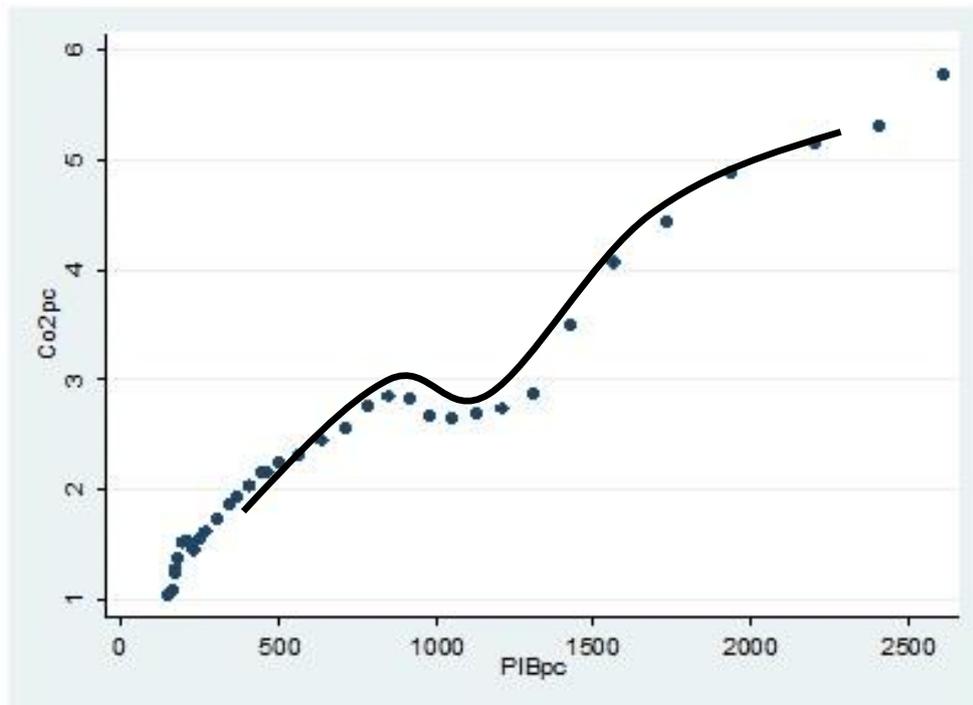
  

Co <sub>2</sub>	Coef.	Std. Err.	T	P <  t
<b>Pib</b>	.0061375	.0003413	17.98	0.000
<b>Pib<sup>2</sup></b>	-3.94e-06	4.52e-07	-8.71	0.000
<b>Pib<sup>3</sup></b>	9.64e-10	1.36e-10	7.09	0.000

Os resultados obtidos demonstram que, ao nível de 5% de significância, todos os coeficientes se mostram estatisticamente significativos, sendo que  $\beta_1 > 0$ ,  $\beta_2 < 0$  e  $\beta_3 > 0$  o que indica que na economia da China a relação entre aumento da renda per capita e emissões de  $CO_2pc$  é representada por uma função cúbica, o que sugere que na China as emissões de  $CO_2pc$  voltam a crescer após um certo nível de renda per capita muito elevado.

Dessa forma, a CKA que representa a relação entre emissões de  $CO_2pc$  e aumento da renda per capita na China pode ser representada pela equação 3 a seguir:

$$CO_2 = 0,006PIBpc - 3,94 \times 10^{-6} PIBpc^2 + 9,64 \times 10^{-10} PIBpc^3 \quad (3)$$



**Figura 16 - Relação entre PIBpc e  $CO_2pc$  estimada para a China, entre 1971 e 2009**

Fonte: Resultado de pesquisa, elaborado pela autora.

Interpretando os resultados encontrados pode-se sugerir que em um primeiro momento um aumento de US\$1 no PIBpc da China leva a um aumento de 0,006 toneladas métricas per capita nas suas emissões de  $CO_2$ . Após determinado nível de renda, essa relação se torna negativa, e um aumento de US\$1 no PIBpc da China passa a causar uma diminuição de  $-3,94 \times 10^{-6}$  toneladas métricas per capita nas emissões de  $CO_2$  do país – o que mostra que o país, nesse trecho da curva, está crescendo via diminuição de emissões. Com o contínuo crescimento da renda a relação torna a se inverter e volta a ser positiva. Assim, em níveis de renda ainda mais elevados um aumento de US\$1 no PIBpc do país causa um aumento de

$9,64 \times 10^{-10}$  toneladas métricas per capita nas suas emissões de  $\text{CO}_2$ . Assim, pode se dizer que a relação entre emissões de  $\text{CO}_2\text{pc}$  e crescimento da renda per capita da China pode ser apresentada por meio de uma curva em formato de N (ver Figura 16).

### 5.3 Estados Unidos

Assim como a regressão estimada para a China, a regressão estimada para os Estados Unidos também apresentou, ao nível de 5 % de significância, todos os coeficientes  $\beta$  estatisticamente significativos e diferentes de zero como pode ser verificado a partir da Tabela 3 a seguir:

**Tabela 3 - Resultados da regressão da CKA estimada para os Estados Unidos**

<b>SOURCE</b>	<b>SS</b>	<b>Df</b>	<b>MS</b>	
<b>Model</b>	15490.404	3	5163.46798	
<b>Residual</b>	35.3857624	36	.982937845	
<b>Total</b>	15525.7897	39	398.097172	

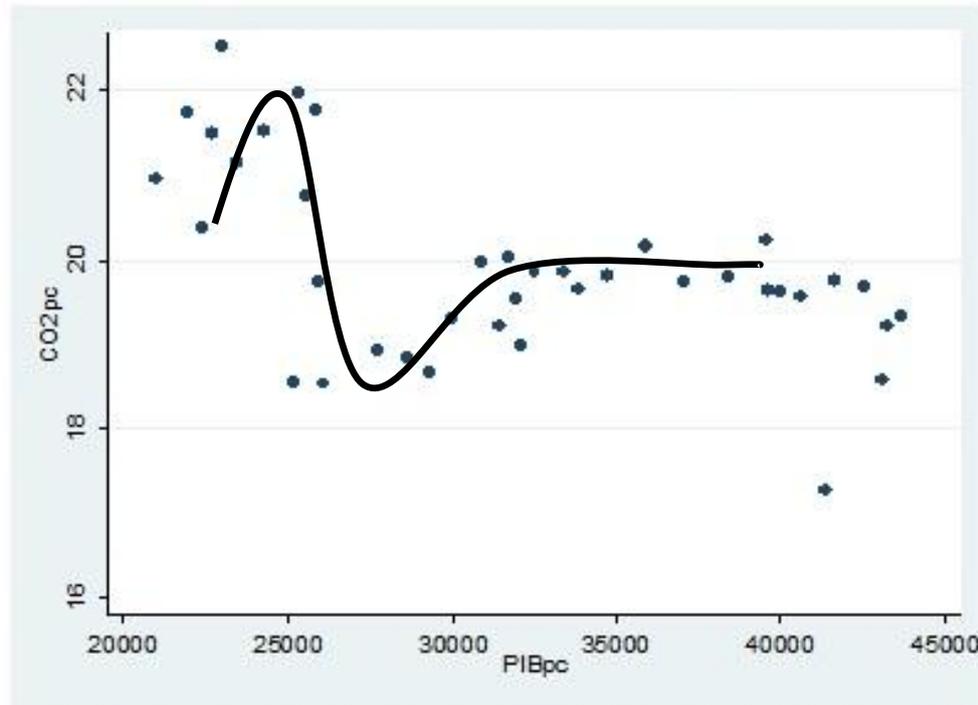
<b>Co<sub>2</sub></b>	<b>Coef.</b>	<b>Std. Err.</b>	<b>T</b>	<b>P &lt;  t </b>
<b>Pib</b>	.0022903	.0001376	16.65	0.000
<b>Pib<sup>2</sup></b>	-8.05e-08	8.42e-09	-9.57	0.000
<b>Pib<sup>3</sup></b>	8.80e-13	1.25e-13	7.06	0.000

Fonte: Resultado de pesquisa, elaborado pela autora.

Mais uma vez  $\beta_1 > 0$ ,  $\beta_2 < 0$  e  $\beta_3 > 0$ , o que mais uma vez sugere que embora possa haver uma diminuição nas emissões de  $\text{CO}_2$  à medida que a renda per capita do país cresce, em níveis de renda muito altos as emissões de  $\text{CO}_2$  apresentam um novo ponto de inflexão e retomam a sua trajetória ascendente, apresentando então uma curva em formato de N.

Dessa forma a relação entre as variáveis para a economia dos Estados Unidos pode ser representada pela seguinte equação:

$$\text{CO}_2 = 0,02\text{PIBpc} - 8,05 \times 10^{-8} \text{PIBpc}^2 + 8,80 \times 10^{-13} \text{PIBpc}^3 \quad (4)$$



**Figura 17 - Relação entre PIBpc e CO<sub>2</sub>pc estimada para os Estados Unidos, entre 1971 e 2009**

Fonte: Resultado de pesquisa, elaborado pela autora.

Assim, pode se dizer que, assim como na China, a relação entre crescimento da renda per capita dos Estados Unidos e as emissões de CO<sub>2</sub> do país é representada por uma curva em formato de N (ver Figura 17). No primeiro trecho, um aumento de US\$1 no PIBpc tem como consequência um aumento de 0,002 toneladas métricas per capita das emissões de CO<sub>2</sub>. No segundo trecho – trecho descendente – um aumento de US\$1 do PIBpc causa uma diminuição de  $-8,05 \times 10^{-8}$  toneladas métricas per capita nas emissões de CO<sub>2</sub>. Nos níveis de renda mais elevados a relação volta a se apresentar positiva e indica que um aumento de US\$1 no PIBpc causa um aumento de  $8,80 \times 10^{-13}$  toneladas métricas per capita na nas emissões de CO<sub>2</sub>. Esse aumento, entretanto é bastante menor do que aquele apresentado no primeiro trecho da curva, mas mesmo assim é positivo, o que mostra que após um nível muito alto de renda o crescimento do PIBpc dos Estados Unidos se dá por meio de aumento nas emissões de CO<sub>2</sub>pc.

#### 5.4 Alemanha

Os resultados da regressão estimada para a economia da Alemanha estão apresentados na Tabela 4 a seguir.

**Tabela 4 - Resultados da regressão da CKA estimada para a Alemanha**

SOURCE	SS	Df	MS
<b>Model</b>	4120.10617	3	1373.36872
<b>Residual</b>	4.62969381	36	.128602606
<b>Total</b>	4124.73586	39	105.762458

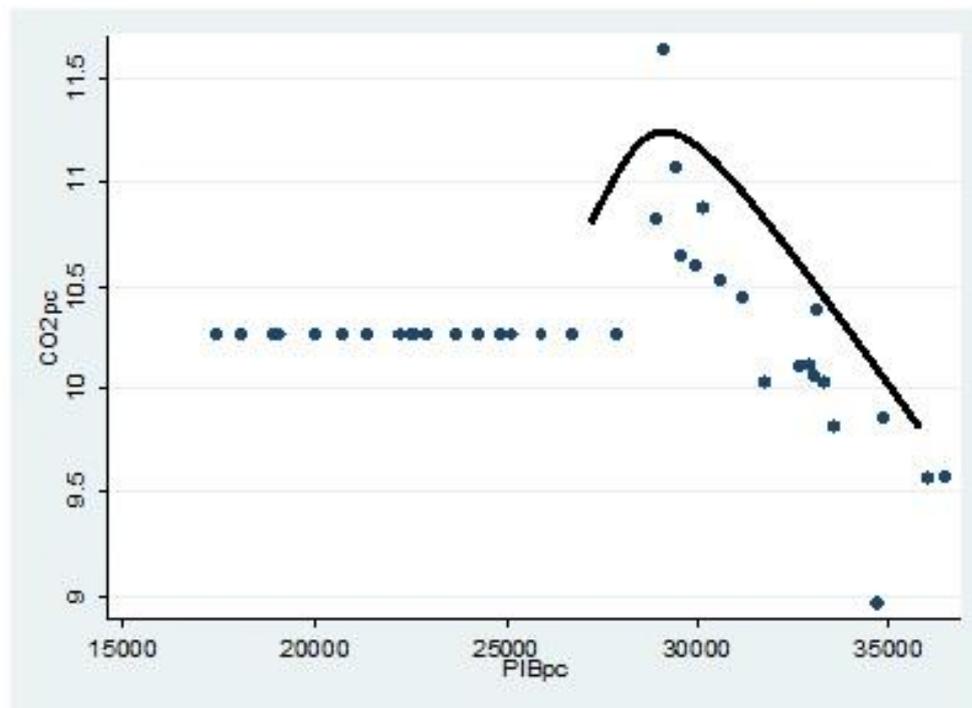
Co <sub>2</sub>	Coef.	Std. Err.	T	P<  t
<b>Pib</b>	.0009599	.0000621	15.45	0.000
<b>Pib<sup>2</sup></b>	-2.63e-08	4.58e-09	-5.75	0.000
<b>Pib<sup>3</sup></b>	1.97e-13	8.21e-14	2.40	0.222

Fonte: Resultado de pesquisa, elaborado pela autora.

Quando testada para a economia Alemã, a CKA mostra, como esperado para os países desenvolvidos, um formato de U-invertido dado que apenas os coeficientes  $\beta_1$  e  $\beta_2$  se mostraram estatisticamente significativos ( $\beta_3$  não é estatisticamente diferente de zero) sendo  $\beta_1 > 0$ ,  $\beta_2 < 0$ .

Assim, a relação entre o crescimento da renda per capita e as emissões de CO<sub>2</sub>pc pode ser representada pela equação a seguir:

$$CO_2 = 0,0009 PIBpc - 2,63 \times 10^{-8} PIBpc^2 \quad (5)$$



**Figura 18 - Relação entre PIBpc e CO<sub>2</sub>pc estimada para a Alemanha, entre 1971 e 2009**

Fonte: Resultado de pesquisa, elaborado pela autora.

Os resultados mostram que, no primeiro trecho da curva, a renda per capita da Alemanha cresce com aumento das emissões de CO<sub>2</sub>pc, sendo que um aumento de US\$1 no PIBpc causa um aumento de 0,0009 toneladas métricas per capita nas emissões de CO<sub>2</sub>. Após um determinado nível de renda, a relação passa a ser negativa e o crescimento da renda do país passa a se dar por meio de diminuições de emissões de CO<sub>2</sub>pc. Assim, um aumento de US\$1 no PIBpc da Alemanha causa uma diminuição de  $2,63 \times 10^{-8}$  toneladas métricas per capita nas emissões de CO<sub>2</sub> do país (ver Figura 18).

## CONCLUSÕES

A relação entre crescimento da renda per capita e danos ambientais muitas vezes é representada por uma curva em formato de U-invertido que sugere que embora em um primeiro momento incrementos na renda per capita de um dado país causa aumentos dos danos ambientais, após um determinado nível de renda passa a apresentar o comportamento oposto, e aumentos no nível de renda trazem consigo diminuições nos danos ambientais. Essa curva em formato de U-invertido é conhecida como Curva de Kuznets ambiental, e segundo alguns autores como De Bruyn et al. (1998) é apenas um estágio inicial da relação entre crescimento econômico e pressão ambiental. O que aconteceria, de acordo com De Bruyn (1998) é que em níveis muito elevados de renda, haveria um novo ponto de inflexão que tornaria a trajetória ascendente novamente, e faria com que a CKA apresentasse um formato similar ao de um N.

O objetivo do presente trabalho foi estimar a CKA para estudar a relação entre crescimento da renda per capita e emissões de CO<sub>2</sub> per capita para Brasil, China, Estados Unidos e Alemanha entre 1971 e 2009 de forma a poder verificar se nesses países a relação entre crescimento da renda per capita e danos ambientais (especificamente emissões de CO<sub>2</sub>pc) se enquadravam na hipótese da CKA, tanto na sua versão em formato de U-invertido quanto na sua versão alternativa em formato de N.

Os resultados encontrados variam desde curvas com formato de U- invertido, curvas com formato de N e curvas que não se encaixam em nenhuma das hipóteses.

Quando analisada a relação entre crescimento da renda per capita e emissões de CO<sub>2</sub>pc para o Brasil, se verifica que a curva resultante não se encaixa em nenhuma das alternativas da CKA. No Brasil, as variáveis apresentam uma relação linear monotônica crescente, o que sugere que, durante todo o período analisado (entre 1971 e 2009) os crescimentos de renda per capita do Brasil provocaram aumentos nas emissões de CO<sub>2</sub>pc, o que não está muito longe dos resultados esperados para países em desenvolvimento.

Os dados das fontes energéticas mais utilizadas pelo Brasil durante o período mostram que, embora o país venha mostrando um esforço no sentido de utilizar tecnologias mais limpas como a energia hidrelétrica, ainda depende, em sua grande maioria, das energias de origem fóssil. Além disso, ao longo de todo o período, o país tem demonstrado constante aumento nas emissões de CO<sub>2</sub>pc, o que corrobora o fato de que a curva estimada para o Brasil apresente uma relação linear monotônica crescente entre as variáveis, dado que o Brasil ainda não atingiu um grau de afluência suficientemente elevado que lhe permita crescer com

diminuição nas suas emissões de CO<sub>2</sub>pc e mostrar uma curva com um trecho decrescente que se aproxime do formato de U-invertido.

De acordo com Carvalho e Almeida, (2010) esse padrão de crescimento ocorre, em geral, em uma primeira etapa, quando a economia do país está em um processo de transição de uma economia agrícola para uma economia industrial, fazendo com que o crescimento econômico implique uma pressão cada vez maior sobre o meio ambiente, resultado da criação e ampliação do parque industrial. Logo após o período de transição o atendimento das necessidades básicas permite o crescimento de setores menos intensivos em recursos e poluição, e as melhorias técnicas começam a reduzir a intensidade de matéria/energia e rejeitos da produção, o que leva ao crescimento com diminuição dos danos ambientais.

Quando a CKA é testada para a China encontram-se resultados que sugerem que a relação entre o crescimento da renda e as emissões de CO<sub>2</sub> apresenta uma curva em formato de N, ou seja, que as emissões de CO<sub>2</sub> crescem em baixos níveis de renda, decrescem em um intervalo de rendas mais elevadas, e após atingir um patamar de rendas muito elevado voltam a crescer.

A análise das emissões de CO<sub>2</sub> realizada para a China de certo modo corroboram essa curva em formato de N dado que, embora a China tenha, ao longo de todo o período analisado demonstrado um aumento nas suas emissões de CO<sub>2</sub>pc, entre os anos de 1997 e 2002 a economia chinesa mostrou um crescimento do PIBpc acompanhado por um decréscimo dessas emissões de CO<sub>2</sub>pc. Essa evidência poderia ir de encontro à justificativa de se De Bruyn et al. (1998), de que maiores níveis de renda per capita elevariam o consumo em termos absolutos, ainda que eles se reduzissem em termos per capita, fazendo com que após um certo nível de renda as emissões de CO<sub>2</sub> retomem a sua trajetória ascendente.

A análise da CKA para os estados Unidos apresentou o mesmo resultado que a estimada para a China. No país norte-americano a relação entre crescimento da renda e emissões de CO<sub>2</sub> também apresentou uma curva em formato de N o que sugere que os Estados Unidos alcançaram uma renda elevada o suficiente como para aumentar o consumo em termos absolutos (o que faz com que a curva volte a ser positiva) e voltaram a crescer com aumento das emissões de CO<sub>2</sub>.

A análise da trajetória de crescimento do PIBpc e das emissões de CO<sub>2</sub>pc dos Estados Unidos difere um pouco dos resultados encontrados, dado que durante todo o período analisado os Estados Unidos demonstraram constante aumento do seu PIBpc, e, embora as suas emissões de CO<sub>2</sub>pc tenham apresentado grande oscilação, as mesmas finalizaram o

período com um valor menor daquele que apresentavam no começo, o que poderia ir na linha de uma curva no formato de U-invertido.

Essa diferença nos resultados pode se explicar em parte pela grande oscilação das emissões de CO<sub>2</sub>pc que podem interferir na análise econométrica, e em parte pela dificuldade de ajustar as emissões de poluentes como o CO<sub>2</sub> a trajetória da CKA, como apresentado por Carson (2010) e William e Gregory (1997).

Quando se analisa a hipótese da CKA para a Alemanha, encontra-se uma relação quadrática, representada por meio de uma curva em formato de U-invertido. Isso quer dizer que, em baixos níveis de renda o PIBpc da Alemanha cresce com aumento das emissões de CO<sub>2</sub>pc. Após certo nível de renda, entretanto, a relação se inverte, e o crescimento do PIBpc do país se dá por meio de diminuições no nível das suas emissões de CO<sub>2</sub>pc.

A análise da evolução das emissões de CO<sub>2</sub>pc na economia alemã corroboram esse resultado dado que a partir do ano que se tem registro (1991) o país vem apresentando um decréscimo das suas emissões de CO<sub>2</sub>, o que estaria indicando que, ao contrário do Brasil, após crescer às custas de maiores danos ambientais, a economia alemã alcançou uma renda per capita suficientemente alta como para poder crescer com diminuição dos seus danos ambientais e poder apresentar uma trajetória decrescente que dá a sua curva de relação entre crescimento da renda e emissões de CO<sub>2</sub> um formato de U-invertido.

De fato, quando se analisam as fontes energéticas que compõe a matriz energética da Alemanha, se verifica que a mesma vem apresentando uma diminuição de energias provenientes de combustíveis de origem fóssil e um aumento nas energias renováveis, nuclear e alternativas, o que provavelmente esteja vinculado ao formato de U-invertido da CKA da Alemanha.

De acordo com Grossman e Krueger (1991) a mudança de inclinação na CKA está relacionada com a pressão negativa do aumento da renda sobre o meio ambiente (efeitos-renda), a atenuação da degradação ambiental, uma vez que a composição da cadeia produtiva se volta para setores menos intensivos em poluição (efeito-composição) e o progresso tecnológico que propicia um processo produtivo mais eficiente no uso dos recursos, reduzindo o dano ambiental e leva à diminuição dos danos ambientais (efeito-tecnologia). Desse modo, CKA da Alemanha estaria apresentando um formato de U-invertido, pois seus efeitos composição e tecnologia se sobrepõem ao efeito-renda.

O trecho decrescente da CKA é, entretanto, objeto de discórdias. Conforme Grossman e Krueger (1995), o decréscimo da CKA, mais do que pelo fato que os países adotem tecnologias de produção mais limpas, se dá pelo fato de que os países deixam de produzir

bens intensivos em poluição e passam a importá-los, ou ainda porque transmigram suas plantas produtivas intensivas em poluição para países em desenvolvimento, nos quais as regulamentações ambientais são menos rígidas. Entretanto essa questão da exportação de poluição não é objeto do presente estudo.

Cabe ressaltar que os resultados obtidos permitem análises limitadas, tanto pela extensão do período analisado quanto pelo poluente escolhido para análise, de forma que analisar esta relação considerando um período mais extenso e outros poluentes, bem como a questão da exportação de poluição para outros países torna-se objeto de estudos futuros.

## REFERÊNCIAS

ARROW, K. et al. **Economic growth, Carring Capacity, and the Environment.** Science, v. 268, 28 abril 1995.

BANCO MUNDIAL. Banco de dados. Disponível em:  
<http://www.worldbank.org/pt/country/brazil>.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL – BNDES. **Efeito estufa e a convenção sobre mudança do clima.** Setembro, 1999.

CARSON, R., 2010. The Environmental Kuznets Curve: seeking empirical regularity and theoretical structure. Rev. Environ. Econ. Policy, v. 4 n. 1, p. 3-23.

CARVALHO, T. S.; ALMEIDA, E. **A hipótese da Curva de Kuznets Ambiental Global:** uma perspectiva econométrico-espacial. Est. Econ., São Paulo, v. 40, n. 3, p. 587-615, jul-set 2010.

CROPPER, M.; GRIFFITHS, C. **The interaction of population growth and environmental quality.** American Economic Review, v. 84, p. 250-254, 1994.

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, Amsterdam, 1998.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA). Disponível em:  
<http://www.eia.gov/>. Acesso em: 19/ago/2013.

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

GROSSMAN, G. M.; KRUEGER, A. B. **Economic growth and the environment.** The Quarterly Journal of Economics, v. 110, n. 2, p. 353-377, may, 1995.

KUZNETS, S. S. **Economic growth and income inequality.** The American Economic Review, v.45 n. 1, p.1-28, mar, 1955.

MINISTÉRIO DE AGRICULTURA, PESCARIA E ABASTECIMENTO. **Quais são os países que mais emitem gases do efeito estufa?** Disponível em:  
[http://www.aquecimento.cnpm.embrapa.br/conteudo/historico\\_aq\\_paises.htm](http://www.aquecimento.cnpm.embrapa.br/conteudo/historico_aq_paises.htm) Acesso em: 25/abr/2013.

ONU. **Relatório de Desenvolvimento Humano 2007/2008 - Combater as alterações climáticas:** solidariedade humana num mundo dividido. Coimbra: Edições Almeida, 2007.

SANTOS, J. F. **Crescimento econômico e emissões de CO<sub>2</sub> por combustíveis fósseis:** uma análise da hipótese da Curva de Kuznets Ambiental. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais: 2009.

SHAFIK, N; BANDYOPADHYAY, S. **Economic growth and Environmental Quality: Time series and Cross-Country Evidence.** World Development Report Working Papers, 1992.

STERN, D.I. **The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve.** World Development v. 32, n. 8, p. 1419–1439, 2004.

STERN, D.I., COMMON, M.S., BARBIER, E.B. **Economic growth and environmental degradation: a critique of the environmental Kuznets curve.** World Development. v. 24, n. 7, p.1151–1160, 1996.

TUAN, N.A. **Evidences of Environmental Kuznets Curve from CO2 Emissions in Six-Country Analysis,** Working Paper, Institute d’Economie et de Polique de L’Energie (IEPE), França, 1999.

MOOMAW, W.R.; UNRUH, G.C. **Are environmental Kuznets curves misleading us? The case of CO2 emissions.** Environment and Development Economics, v. 2 n.4, p. 451-463, 1997.

## **ANEXOS**

## ANEXO A

Tabela A. 1- Valores do PIBpc e CO2pc para o Brasil, entre 1971 e 2009

<b>ANO</b>	<b>PIBpc</b>	<b>CO2pc</b>
<b>1971</b>	2577,296	1,04275
<b>1972</b>	2819,617	1,134408
<b>1973</b>	3138,547	1,2832
<b>1974</b>	3342,529	1,357291
<b>1975</b>	3434,553	1,396833
<b>1976</b>	3682,718	1,400206
<b>1977</b>	3762,477	1,43635
<b>1978</b>	3793,6	1,523105
<b>1979</b>	3956,179	1,583551
<b>1980</b>	4216,766	1,536797
<b>1981</b>	3938,644	1,378743
<b>1982</b>	3870,957	1,350136
<b>1983</b>	3654,982	1,277309
<b>1984</b>	3763,654	1,265756
<b>1985</b>	3977,45	1,33053
<b>1986</b>	4208,662	1,430575
<b>1987</b>	4275,758	1,463876
<b>1988</b>	4191,974	1,449359
<b>1989</b>	4252,147	1,45517
<b>1990</b>	3999,429	1,395852
<b>1991</b>	3993,057	1,441508
<b>1992</b>	3911,571	1,427611
<b>1993</b>	4031,129	1,469569
<b>1994</b>	4181,665	1,518846
<b>1995</b>	4300,07	1,595813
<b>1996</b>	4325,679	1,732336
<b>1997</b>	4403,812	1,800488
<b>1998</b>	4339,17	1,842714
<b>1999</b>	4286,173	1,861403
<b>2000</b>	4406,713	1,879511
<b>2001</b>	4402,511	1,906747
<b>2002</b>	4458,334	1,852165
<b>2003</b>	4450,926	1,769553
<b>2004</b>	4647,527	1,835908
<b>2005</b>	4739,305	1,865824
<b>2006</b>	4874,601	1,847979
<b>2007</b>	5121,029	1,911676
<b>2008</b>	5336,079	2,02161
<b>2009</b>	5271,138	1,897491

Fonte: Banco Mundial, 2012.

**Tabela A. 2 - Valores do PIBpc e CO2pc para a China, entre 1971 e 2009**

<b>ANO</b>	<b>PIBpc</b>	<b>Co2pc</b>
<b>1971</b>	150,5224	1,04224
<b>1972</b>	152,4496	1,080677
<b>1973</b>	160,7796	1,098196
<b>1974</b>	161,1144	1,097367
<b>1975</b>	172,065	1,250124
<b>1976</b>	166,7123	1,285283
<b>1977</b>	176,9544	1,388843
<b>1978</b>	195,0307	1,529201
<b>1979</b>	207,0723	1,542675
<b>1980</b>	220,4417	1,495251
<b>1981</b>	228,953	1,460432
<b>1982</b>	246,1362	1,56674
<b>1983</b>	269,0492	1,629056
<b>1984</b>	305,9045	1,750448
<b>1985</b>	342,5058	1,871055
<b>1986</b>	367,1446	1,939434
<b>1987</b>	403,2153	2,038411
<b>1988</b>	441,6108	2,150905
<b>1989</b>	452,7224	2,153078
<b>1990</b>	463,0809	2,167703
<b>1991</b>	498,8315	2,245901
<b>1992</b>	562,7267	2,314207
<b>1993</b>	634,1758	2,442801
<b>1994</b>	709,1916	2,565994
<b>1995</b>	777,9944	2,755755
<b>1996</b>	846,8708	2,84431
<b>1997</b>	916,2047	2,820568
<b>1998</b>	978,2369	2,676746
<b>1999</b>	1043,508	2,648649
<b>2000</b>	1122,285	2,696862
<b>2001</b>	1206,638	2,742121
<b>2002</b>	1307,651	2,885225
<b>2003</b>	1429,485	3,512245
<b>2004</b>	1564,543	4,080139
<b>2005</b>	1731,125	4,441151
<b>2006</b>	1940,115	4,892727
<b>2007</b>	2204,07	5,153564
<b>2008</b>	2403,314	5,312863
<b>2009</b>	2611,398	5,774314

Fonte: Banco Mundial, 2012.

**Tabela A. 3 - Valores do PIBpc e CO2pc para os Estados Unidos, entre 1971 e 2009**

<b>ANO</b>	<b>PIBpc</b>	<b>CO2pc</b>
<b>1971</b>	20991,42	20,9802
<b>1972</b>	21914,66	21,74864
<b>1973</b>	22989,59	22,51058
<b>1974</b>	22662,19	21,50293
<b>1975</b>	22395,86	20,40222
<b>1976</b>	23386,15	21,15762
<b>1977</b>	24225,95	21,53248
<b>1978</b>	25319,32	21,96515
<b>1979</b>	25829,69	21,77411
<b>1980</b>	25509,52	20,77751
<b>1981</b>	25902,31	19,7493
<b>1982</b>	25148,49	18,56395
<b>1983</b>	26044,95	18,54181
<b>1984</b>	27678,15	18,95612
<b>1985</b>	28562,06	18,8567
<b>1986</b>	29269,2	18,70287
<b>1987</b>	29927,48	19,33406
<b>1988</b>	30872,93	19,99462
<b>1989</b>	31673,01	20,05958
<b>1990</b>	31898,5	19,54698
<b>1991</b>	31392,87	19,2514
<b>1992</b>	32014,63	19,00873
<b>1993</b>	32502,82	19,88114
<b>1994</b>	33427,71	19,86568
<b>1995</b>	33874	19,67105
<b>1996</b>	34749,85	19,8353
<b>1997</b>	35880,98	20,17687
<b>1998</b>	37026,11	19,75348
<b>1999</b>	38385,54	19,81131
<b>2000</b>	39544,96	20,2488
<b>2001</b>	39583,61	19,65606
<b>2002</b>	39934,96	19,64695
<b>2003</b>	40603,85	19,58466
<b>2004</b>	41629,71	19,77683
<b>2005</b>	42516,39	19,71596
<b>2006</b>	43228,11	19,22923
<b>2007</b>	43635,59	19,34958
<b>2008</b>	43069,58	18,60227
<b>2009</b>	41366,29	17,27528

Fonte: Banco Mundial, 2012.

**Tabela A. 4 - Valores do PIBpc e CO2pc para a Alemanha, entre 1971 e 2009\***

<b>ANO</b>	<b>PIBpc</b>	<b>CO2pc</b>
<b>1971</b>	17430,92	-
<b>1972</b>	18093,73	-
<b>1973</b>	18898,54	-
<b>1974</b>	19059,32	-
<b>1975</b>	18964,7	-
<b>1976</b>	19988,84	-
<b>1977</b>	20704,73	-
<b>1978</b>	21346,2	-
<b>1979</b>	22222,31	-
<b>1980</b>	22488,69	-
<b>1981</b>	22573,3	-
<b>1982</b>	22505,57	-
<b>1983</b>	22919,46	-
<b>1984</b>	23648,06	-
<b>1985</b>	24252,72	-
<b>1986</b>	24796,11	-
<b>1987</b>	25105,19	-
<b>1988</b>	25934,38	-
<b>1989</b>	26737,35	-
<b>1990</b>	27900,87	-
<b>1991</b>	29113,22	11,63369
<b>1992</b>	29445,1	11,07778
<b>1993</b>	28959,03	10,83169
<b>1994</b>	29572,07	10,64816
<b>1995</b>	29979,75	10,59958
<b>1996</b>	30129,48	10,88083
<b>1997</b>	30608,1	10,53181
<b>1998</b>	31173,26	10,4474
<b>1999</b>	31736,01	10,04228
<b>2000</b>	32662,13	10,12147
<b>2001</b>	33101,02	10,39171
<b>2002</b>	33048,77	10,07303
<b>2003</b>	32906,47	10,12499
<b>2004</b>	33295,78	10,04071
<b>2005</b>	33542,78	9,816931
<b>2006</b>	34823,12	9,855743
<b>2007</b>	36009,62	9,569344
<b>2008</b>	36468,96	9,580456
<b>2009</b>	34686,97	8,969211

\*Os dados das emissões de CO<sub>2</sub> para a Alemanha só estão disponíveis a partir de 1991.

Fonte: Banco Mundial, 2012.

## ANEXO B

Tabela B. 1 - Fonte de energia, em % do total, para o Brasil, entre 1971 e 2009

	Combustíveis fósseis	Combustíveis renováveis e resíduos	Energia nuclear e alternativa	TOTAL
1971	43,6	51,0	5,3	100
1972	45,4	48,8	5,8	100
1973	49,3	44,6	6,1	100
1974	50,8	42,7	6,5	100
1975	52,1	41,0	6,8	100
1976	54,1	38,4	7,5	100
1977	54,1	37,7	8,1	100
1978	56,4	35,2	8,4	100
1979	56,3	34,7	9,0	100
1980	54,8	35,5	9,7	100
1981	52,9	36,8	10,3	100
1982	52,6	36,5	10,9	100
1983	49,7	38,9	11,4	100
1984	47,4	40,4	12,2	100
1985	48,2	39,1	12,5	100
1986	50,0	37,7	11,6	100
1987	49,5	37,9	11,5	100
1988	50,0	36,8	12,1	100
1989	49,8	36,4	12,4	100
1990	51,2	34,1	13,1	100
1991	51,9	33,1	13,4	100
1992	52,7	32,3	13,6	100
1993	53,3	31,4	13,7	100
1994	53,3	31,6	13,4	100
1995	54,6	29,6	14,0	100
1996	56,3	28,0	13,8	100
1997	56,7	27,5	13,9	100
1998	57,3	26,6	14,2	100
1999	57,3	26,8	14,1	100
2000	58,2	24,9	14,8	100
2001	59,0	25,2	14,1	100
2002	57,2	26,7	14,4	100
2003	54,7	28,7	15,0	100
2004	54,7	29,1	14,6	100
2005	54,3	29,4	14,7	100
2006	53,4	29,8	15,1	100
2007	52,7	30,6	15,1	100
2008	52,6	31,5	14,4	100
2009	51,4	31,6	15,6	100

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do Banco Mundial, 2013.

**Tabela B. 2 - Fonte de energia, em % do total, para a China, entre 1971 e 2009**

	<b>Combustíveis fósseis</b>	<b>Combustíveis renováveis e resíduos</b>	<b>Energia nuclear e alternativa</b>	<b>TOTAL</b>
<b>1971</b>	59,8	39,5	0,7	100
<b>1972</b>	60,8	38,5	0,7	100
<b>1973</b>	61,2	38,0	0,8	100
<b>1974</b>	61,3	37,8	0,8	100
<b>1975</b>	64,3	34,9	0,8	100
<b>1976</b>	64,9	34,3	0,8	100
<b>1977</b>	67,3	31,9	0,8	100
<b>1978</b>	69,7	29,7	0,6	100
<b>1979</b>	69,7	29,6	0,7	100
<b>1980</b>	69,1	30,1	0,8	100
<b>1981</b>	68,4	30,6	0,9	100
<b>1982</b>	68,9	30,1	1,0	100
<b>1983</b>	69,6	29,2	1,2	100
<b>1984</b>	71,2	27,7	1,1	100
<b>1985</b>	71,6	27,2	1,1	100
<b>1986</b>	72,2	26,6	1,1	100
<b>1987</b>	73,2	25,6	1,1	100
<b>1988</b>	74,3	24,5	1,2	100
<b>1989</b>	74,3	24,4	1,3	100
<b>1990</b>	75,7	23,0	1,3	100
<b>1991</b>	75,1	23,6	1,3	100
<b>1992</b>	75,7	23,0	1,3	100
<b>1993</b>	76,7	21,8	1,5	100
<b>1994</b>	77,2	20,9	1,9	100
<b>1995</b>	78,5	19,6	2,0	100
<b>1996</b>	79,2	18,9	2,0	100
<b>1997</b>	79,8	18,3	2,0	100
<b>1998</b>	80,1	17,9	2,1	100
<b>1999</b>	80,0	18,0	2,1	100
<b>2000</b>	80,6	17,2	2,2	100
<b>2001</b>	80,5	16,9	2,6	100
<b>2002</b>	81,3	16,0	2,7	100
<b>2003</b>	83,2	14,1	2,7	100
<b>2004</b>	84,6	12,5	3,0	100
<b>2005</b>	85,4	11,6	3,0	100
<b>2006</b>	86,4	10,6	3,0	100
<b>2007</b>	86,7	10,1	3,3	100
<b>2008</b>	86,6	9,7	3,7	100
<b>2009</b>	87,3	9,0	3,7	100

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do Banco Mundial, 2013.

Tabela B. 3 - Fonte de energia, em % do total, para os Estados Unidos, entre 1971 e 2009

	Combustíveis fósseis	Combustíveis renováveis e resíduos	Energia nuclear e alternativa	TOTAL
1971	95,6	2,2	2,1	100
1972	95,4	2,2	2,4	100
1973	95,0	2,2	2,8	100
1974	94,2	2,2	3,5	100
1975	93,1	2,2	4,6	100
1976	93,0	2,4	4,6	100
1977	92,4	2,5	5,0	100
1978	91,7	2,7	5,5	100
1979	91,8	2,8	5,2	100
1980	91,4	3,0	5,4	100
1981	90,8	3,1	5,9	100
1982	90,0	3,3	6,5	100
1983	89,5	3,5	6,8	100
1984	88,9	3,8	7,1	100
1985	88,3	3,7	7,8	100
1986	87,7	3,8	8,4	100
1987	87,4	4,0	8,4	100
1988	87,1	3,8	9,0	100
1989	87,1	3,5	9,3	100
1990	86,4	3,3	10,3	100
1991	85,7	3,4	10,8	100
1992	85,6	3,7	10,6	100
1993	86,1	3,3	10,4	100
1994	85,9	3,4	10,5	100
1995	85,5	3,4	11,0	100
1996	85,5	3,4	10,9	100
1997	86,5	3,3	10,1	100
1998	86,1	3,3	10,5	100
1999	85,8	3,2	10,9	100
2000	85,9	3,2	10,8	100
2001	86,3	2,9	10,7	100
2002	86,2	2,9	10,8	100
2003	86,3	3,1	10,6	100
2004	86,1	3,2	10,7	100
2005	86,0	3,3	10,6	100
2006	85,6	3,4	10,9	100
2007	85,6	3,5	10,8	100
2008	85,0	3,7	11,2	100
2009	84,2	3,9	11,8	100

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do Banco Mundial, 2013.

**Tabela B. 4 - Fonte de energia, em % do total, para a Alemanha, entre 1971 e 2009**

	<b>Combustíveis fósseis</b>	<b>Combustíveis renováveis e resíduos</b>	<b>Energia nuclear e alternativa</b>	<b>TOTAL</b>
<b>1971</b>	98,1	0,8	0,9	100
<b>1972</b>	97,7	0,9	1,1	100
<b>1973</b>	97,6	0,7	1,3	100
<b>1974</b>	97,2	1,0	1,6	100
<b>1975</b>	96,2	1,1	2,5	100
<b>1976</b>	96,3	1,0	2,6	100
<b>1977</b>	95,2	1,0	3,6	100
<b>1978</b>	95,2	1,0	3,7	100
<b>1979</b>	94,8	1,0	4,1	100
<b>1980</b>	94,1	1,2	4,5	100
<b>1981</b>	93,0	1,3	5,5	100
<b>1982</b>	92,0	1,5	6,3	100
<b>1983</b>	91,7	1,4	6,6	100
<b>1984</b>	90,1	1,5	8,3	100
<b>1985</b>	87,9	1,5	10,6	100
<b>1986</b>	88,7	1,2	10,0	100
<b>1987</b>	87,9	1,1	10,8	100
<b>1988</b>	86,9	1,2	11,8	100
<b>1989</b>	86,4	1,2	12,3	100
<b>1990</b>	86,8	1,4	11,8	100
<b>1991</b>	87,1	1,4	11,5	100
<b>1992</b>	85,9	1,5	12,7	100
<b>1993</b>	86,0	1,5	12,4	100
<b>1994</b>	86,0	1,6	12,4	100
<b>1995</b>	85,8	1,6	12,5	100
<b>1996</b>	85,9	1,6	12,6	100
<b>1997</b>	84,6	2,0	13,4	100
<b>1998</b>	84,9	2,2	12,9	100
<b>1999</b>	83,9	2,1	13,9	100
<b>2000</b>	83,6	2,3	14,0	100
<b>2001</b>	83,6	2,6	13,8	100
<b>2002</b>	83,2	2,7	13,8	100
<b>2003</b>	83,1	3,3	13,7	100
<b>2004</b>	82,4	3,7	14,0	100
<b>2005</b>	82,4	3,9	13,9	100
<b>2006</b>	81,5	4,6	14,3	100
<b>2007</b>	80,7	6,9	12,9	100
<b>2008</b>	80,2	6,9	13,5	100
<b>2009</b>	79,4	7,8	13,1	100

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do Banco Mundial, 2013.

## ANEXO C

**Tabela C. 1- Estatísticas básicas da regressão estimada para o Brasil**

<b>Number of obs</b>	39
<b>F( 3, 36)</b>	2125.91
<b>Prob &gt; F</b>	0.0000
<b>R-squared</b>	0.9944
<b>Adj R-squared</b>	0.9939
<b>Root MSE</b>	.12341

Fonte: Resultado de pesquisa, elaborado pela autora.

**Tabela C. 2 – Estatísticas básicas da regressão estimada para a China**

<b>Number of obs</b>	39
<b>F( 3, 36)</b>	724.87
<b>Prob &gt; F</b>	0.0000
<b>R-squared</b>	0.9837
<b>Adj R-squared</b>	0.9824
<b>Root MSE</b>	.36661

Fonte: Resultado de pesquisa, elaborado pela autora.

**Tabela C. 3 – Estatísticas básicas da regressão estimada para os Estados Unidos**

<b>Number of obs</b>	39
<b>F( 3, 36)</b>	5253.10
<b>Prob &gt; F</b>	0.0000
<b>R-squared</b>	0.9977
<b>Adj R-squared</b>	0.9975
<b>Root MSE</b>	.99143

Fonte: Resultado de pesquisa, elaborado pela autora.

**Tabela C. 4 - Estatísticas básicas da regressão estimada para a Alemanha**

<b>Number of obs</b>	39
<b>F( 3, 36)</b>	10679.17
<b>Prob &gt; F</b>	0.0000
<b>R-squared</b>	0.9989
<b>Adj R-squared</b>	0.9988
<b>Root MSE</b>	.35861

Fonte: Resultado de pesquisa, elaborado pela autora.