



## CRESCIMENTO ECONÔMICO E EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO: A HIPÓTESE DA CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL PARA O BRASIL (1970 – 2011)

**Guilherme Nunes Pires**

Bacharel em Ciências Econômicas - Universidade Federal de Santa Maria - UFSM  
Mestrando em Economia e Desenvolvimento no Programa de Pós-Graduação em Economia e Desenvolvimento (PPGE&D) - UFSM  
gnpires@hotmail.com

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Guilherme Nunes Pires (2017): “Crescimento econômico e emissões de dióxido de carbono: a hipótese da Curva de Kuznets Ambiental para o Brasil (1970 – 2011)”, Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana, Brasil, (Brasil 2017). En línea:

<http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/br/17/kuznets.html>

### Resumo

O objetivo desse artigo é estabelecer se há evidências empíricas para a Curva de Kuznets Ambiental (CKA) para o caso brasileiro. A ideia central da CKA baseia-se na relação entre degradação ambiental e o nível de desenvolvimento econômico do país ao longo do tempo. Para isso, foi estimada uma regressão cúbica no intuito de encontrar indícios da relação entre renda *per capita* e emissões de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) no formato de U-invertido como estabelecido nos trabalhos pioneiro de Grossman e Krueger (1991; 1995). O período de análise compreende-se de 1970 a 2011. Os dados utilizados estão disponíveis na *database* do Banco Mundial (*World Bank*). Percebe-se que há evidências para tal hipótese no caso brasileiro. Contudo, no longo prazo, essa relação tende a inverter-se.

**Palavras-chave:** CKA, Desenvolvimento Econômico, Meio Ambiente.

## ECONOMIC GROWTH AND EMISSIONS OF CARBON DIOXIDE: THE HYPOTHESIS OF THE ENVIRONMENTAL KUZNETS CURVE FOR BRAZIL (1970 – 2011)

### Abstract

This article aims to establish if there are empirical evidences for the Environmental Kuznets Curve (EKC) for Brazilian case. The central idea of the EKC it is based on the relation between environment degradation and economic development level of a country through time. It was estimated the cubic regression trying to find evidence of the relation between the income per capita and the carbon dioxide emission ( $CO_2$ ) in the inverted U-shaped, as appointed on the first works, from Grossman and Krueger (1991; 1995). The observation period is 1970-2011. Data is available is on database of the World Bank. We should say that there are evidences for the hypothesis in brasilian case, but, in a long run, this relation tends to reverse itself.

**Keywords:** EKC, Economic Development, Environment.

**JEL:** Q59

## 1 INTRODUÇÃO

O grau de concentração de renda no desenvolvimento econômico tem sido estudado há décadas. A principal contribuição sobre o tema pode ser direcionada ao trabalho de Simon Kuznets (1955). Nesse trabalho, o autor identifica, através de análise de dados empíricos, a relação entre o crescimento do produto *per capita* e o nível de desigualdade de renda. Essa hipótese é representada pelo formato de U-invertido (Curva de Kuznets). À medida que o país intensificava o processo de desenvolvimento, o nível de desigualdade de renda tende a aumentar.

Entretanto, ao se atingir um grau mais elevado de desenvolvimento econômico, essa tendência se reverteria. Em um primeiro momento, essa hipótese foi estabelecida para países já desenvolvidos, como EUA, Alemanha e Japão. Com a passagem de uma economia agrícola para uma economia industrial manufatureira, determinado nível de renda apresentaria redução das desigualdades da mesma. Os trabalhos de Kuznets serviram de base para diversos estudos sobre esse tema. Posteriormente, foi utilizado para formulações adaptadas para o contexto ambiental.

Os trabalhos de Grossman e Krueger (1991; 1995) foram pioneiros na análise da Curva de Kuznets Ambiental ao evidenciar empiricamente a relação de U-invertido entre a renda *per capita* e o aumento da poluição. Em períodos iniciais de desenvolvimento econômico, onde a economia é predominantemente agrícola, em processo de industrialização, há intensificação das emissões de gases poluentes. À medida que esse processo aumenta, a economia passa a incorporar tecnologias mais limpas, transitar para uma economia mais eficiente e manufatureira. Dessa forma, o aumento no nível de renda ocasiona um ponto de inflexão nas emissões, i.e. desenvolvimento econômico deixa de ter impacto negativo contínuo no meio ambiente.

O objetivo desse artigo é estabelecer se há evidências empíricas para a Curva de Kuznets Ambiental para o caso brasileiro no período estipulado. Para isso, foi estimada uma regressão cúbica no intuito de encontrar indícios da relação entre renda *per capita* e emissões de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) no formato de U-invertido. O período de análise compreende-se de 1970 a 2011. Os dados utilizados estão disponíveis no *database* do Banco Mundial (*World Bank*).

O artigo está dividido em três sessões, excluindo o resumo, introdução e considerações finais. No primeiro momento, será apresentado o início da preocupação ambiental no contexto econômico, sua evolução e o debate das correntes de pensamento econômico sobre a problemática ambiental. No segundo, uma breve revisão de literatura a respeito dos estudos desenvolvidos sobre a Curva de Kuznets Ambiental (CKA). Por último, será apresentado o modelo utilizado, bem como seus resultados e discussões.

## 2 CRESCIMENTO ECONÔMICO E MEIO AMBIENTE: ASPECTOS HISTÓRICOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

A partir de meados dos anos 1950, a economia global obteve altas taxas de crescimento econômico, demonstrando rápida recuperação após a segunda guerra mundial. Esse período ficou caracterizado como os “anos dourados do capitalismo” até a década de 1970. Entretanto, à medida que as economias cresciam, seus impactos no meio ambiente ficavam mais evidentes. A década de 1970 foi marcada pela disseminação de movimentos sociais e ambientalistas com o intuito de estabelecer uma relação mais harmoniosa entre desenvolvimento econômico e cuidado ambiental. Dessa forma, foi necessário incorporar o processo de deterioração ambiental nas análises econômicas (Montibeller-filho, 2007).

A primeira grande evidência da deterioração ambiental veio à tona com o relatório do Clube de Roma em 1972. Intitulado Limites do Crescimento, o relatório trás como principais conclusões, segundo Bruseke (1994), os impactos que o aumento populacional, contínua industrialização, aumento da poluição e produção de alimentos estagnada trariam à humanidade. As tendências da rápida expansão da população e maior industrialização acarretariam em pressões enormes sobre o meio ambiente, intensificando a degradação ambiental e colocando em risco o colapso da economia nos próximos cem anos. Para resolver o problema de um desastre ecológico seria preciso modificar as tendências de crescimento ilimitado e estabilizar a economia.

Nesse mesmo período, é também entendido por grandes modificações e novas tendências teóricas no intuito de melhor entender a relação entre o sistema econômico e o

meio ambiente como um todo. A partir do início desse debate, surgiram estudos e debates com abordagens divergentes a respeito do tema, bem como a criação de órgãos de fiscalização ambiental. A Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente Humano – Conferência de Estocolmo – foi realizada no ano de 1972 (mesmo ano da publicação do relatório do Clube de Roma.), em Estocolmo, na Suécia. Segundo Franco (2008), a conferência destacou os problemas decorrentes da pobreza e o aumento da população.

Através disso, foram elaboradas metas socioambientais a serem atingidas, principalmente com maior preocupação com os países subdesenvolvidos e seus processos mais intensos de urbanização. O debate decorreu-se principalmente em uma intensa discussão sobre preservar o meio ambiente frente à noção de desenvolvimento tradicional. O resultado dessa conferência se traduziu na criação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) com o objetivo de formar e intensificar as atividades de proteção ao meio ambiente com apoio de diversos organismos locais e internacionais.

Em 1974 ocorreu a reunião promovida pela UNCTAD (The United Nations Conference on Trade and Development) e a UNEP (United Nations Environment Programme) no México, que abordou temas referentes ao meio ambiente e o desenvolvimento econômico, resultando na elaboração da Declaração de Cocoyok. Segundo Bruseke (1994), os principais temas tratados na declaração envolvem crescimento populacional, degradação ambiental e os problemas do subdesenvolvimento. Posteriormente, a Fundação Dag-Hammarskjöld publicou em 1975 um relatório com o apoio de cientistas e políticas de 48 países com contribuição da UNEP (United Nations Environment Programme) e organizações da Organização das Nações Unidas – ONU. O relatório destaca-se por relacionar degradação ambiental e as relações de poder entre as nações (ibid., 1994).

Entretanto, é somente em 1987 que é concebido o termo Desenvolvimento Sustentável a nível global. Com a criação da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), através da Assembleia Geral das Nações Unidas, foi estabelecido à criação de um comitê, liderada por Gro Harlem Brundtland, para tratar dos principais problemas em relação ao meio ambiente e desenvolvimento e propor soluções realistas aos problemas. Segundo Franco (2008), o relatório final foi entregue no ano de 1987, intitulado *Our Common Future*, destacando falhas e acertos do desenvolvimento. O que pode ser destacado como positivo da análise diz respeito ao aumento da expectativa de vida, diminuição da mortalidade infantil, aumento da alfabetização, inovações, maior produção de alimentos frente ao crescimento populacional. Entretanto, houve aumento da erosão dos solos, aumento das áreas desérticas, aumento da poluição, ameaça à camada de ozônio, e aumento dos resíduos poluentes das indústrias e da agricultura.

A redução das emissões dos gases de efeito estufa a nível global foi estabelecida pelo *Protocolo de Kyoto*, assinado em 1998, na tentativa de conter o avanço das emissões poluentes dos países desenvolvidos e Rússia. O protocolo teve por objetivo a diminuição drástica das emissões dos gases de efeito estufa para o ano de 2012. Esse valor estabelecido foi de uma redução em 5,2% menor para níveis anteriores a 1990. Mesmo estabelecendo uma meta ambiciosa, os meios para essa finalidade foram tratados como problemas técnicos. A solução caberia principalmente a um processo de mudança de matriz energética para uma matriz renovável, aliado ao aumento de eficiência tecnológica (Foster, 2000).

Durante esse período, duas correntes ganham espaço dentro da ciência econômica na tentativa de compreender e explicar a relação entre crescimento e meio ambiente. A primeira, a Economia Ambiental, possui caráter *mainstream* e baseia-se no aparato metodológico e instrumental neoclássico ao afirmar que a solução encontra-se na ampliação do mercado e valoração monetária dos recursos ambientais. Por outro lado, a Economia Ecológica busca questionar os fundamentos da crise ambiental. Para essa linha de pensamento, a gênese dos problemas ambientais reside na busca do crescimento econômico como um fim em si mesmo.

Alier (2007) define a Economia Ecológica como um campo transdisciplinar em que coloca a economia como subsistema de um sistema global físico e finito. Essa disciplina surgiu como alternativa à visão neoclássica (mecânica) do sistema econômico, e tem como princípio buscar uma relação harmoniosa entre economia e meio ambiente. Fundamentada na inserção de disciplinas como ecologia e física, mais precisamente as leis da termodinâmica, a economia ecológica busca incorporar os fluxos materiais e energéticos no estudo das relações econômicas.

Segundo Alier (2007), existem três níveis da economia ecológica. A economia e suas relações entre famílias e empresas dentro do mercado, inserida em uma Sociedade com sua estrutura de poder, direitos de propriedade e distribuição de renda, que por fim estaria inserida

em um sistema maior que pertence aos recursos naturais, energia e outros materiais, a biosfera. Montibeller-Filho (2004) nos diz que a obra de Georgescu-Roegen foi de grande influência por incorporar novos aspectos físicos como a entropia. Isso levou a busca do uso racional dos recursos (matéria e energia) e a necessidade de reutilização da maior parte dos resíduos (reciclagem).

Para a Economia Ecológica os recursos naturais são imensuráveis, isto é, não há como imputar um valor monetário a um bem natural. Entretanto, defende a valoração dos recursos ambientais na tomada de decisões, desde que respeite os limites físicos do sistema ecológico para que haja um melhor manejo.

A Economia Ambiental trata dos mesmos pressupostos da escola neoclássica, ou seja, equilíbrio de mercado, análise individual, bem-estar do consumidor e análise marginal. O capital natural (recursos naturais) pode ser convertido em capital manufaturado, tornando os recursos do meio ambiente substituíveis para expansão econômica (Barros; Amin, 2006).

Romeiro (2003) informa que os avanços científicos e tecnológicos superariam o esgotamento dos recursos naturais, já que o papel desses fatores é a de criar recursos alternativos aos esgotados que prolongariam o crescimento econômico. Ainda segundo o autor, o mecanismo de mercado é a melhor solução para os problemas ambientais e para isso utiliza métodos de precificação e mensuração dos custos ambientais.

Para Alier (1998) a Economia Ambiental supõe que as externalidades que estão fora do mercado podem receber uma valoração monetária suficiente. Essa valoração se dá na atribuição de direitos de propriedade aos recursos naturais e serviços ambientais através da proposição do economista britânico Ronald Coase, no qual Montibeller-Filho (2004) define como:

(...) à atribuição de direitos de propriedade sobre o meio ambiente e o mercado de externalidades. Coase acreditava que ao serem considerados como propriedade privada problemas dos bens comuns e ambientais seriam superados. Ao se considerar proposição Coasiana poderia ser levada a cabo negociações de recursos naturais. Isto é, o proprietário dos recursos naturais, por exemplo, poderia comercializar esses bens a um "bom preço" com quem venha a fazer uso dos mesmos, permitindo a externalidade seja internalizada. Essa negociação de daria de tal forma que o ponto ótimo resultante do cruzamento do nível de controle ambiental e o de atividade econômica decorrentes da negociação entre os agentes seja atingido (ibid., 2004: 95).

As externalidades seriam valoradas, ampliando o mercado, que passaria a levar em conta os danos ambientais no formato de preços e custos. Romeiro (2003) coloca que há duas formas que a Economia Ambiental defende o funcionamento do mecanismo de mercado, pela forma direta e indireta. A forma direta é descrita acima pela proposta Coasiana de internalizar as externalidades. A forma indireta consiste em impor valores monetários à degradação ambiental. O Estado deve empregar métodos de taxação, o chamado imposto Pigouviano, que trata de corrigir as externalidades ambientais. Consiste em utilizar o princípio "poluidor pagador", o responsável pelos danos ambientais (empresa) deve obrigatoriamente compensar os danos causados pela mesma.

Do mesmo modo, não se demonstra recente a literatura sobre o tema. Autores como Solow (1974) e Mishan (1969) já haviam percebido os impactos indesejados do crescimento econômico sobre o meio ambiente. As limitações dos recursos naturais para a expansão econômica também foi alvo de alongada discussão entre diversos autores. Gruver (1976) parte do enfoque dos efeitos ambientais posteriores e a necessidade do controle da poluição nos modelos neoclássicos. E, os efeitos da geração de quantidades cada vez maiores de resíduos no processo econômico foram abordados há três décadas atrás (Stiglitz, 1975; Smith, 1976; Anderson, 1972).

Mesmo não havendo consenso se a causa da deterioração do meio ambiente seja explicada pelo crescimento econômico ou por outros fatores, a literatura sobre o tema aponta que sem crescimento não há desenvolvimento, muito menos com sustentabilidade ambiental. Evidências empíricas indicam que o impacto no meio ambiente irá depender do grau de desenvolvimento econômico em que o país está inserido. Países menos desenvolvidos são mais dependentes da agricultura e produção de bens primários. Ao alcançar níveis mais elevados de desenvolvimento, esses países passam a ter um crescimento da economia mais acentuado, aumento da manufatura e, conseqüentemente, da renda (Mueller, 1996).

O nível de degradação ambiental pode depender também de outros fatores. O nível tecnológico, a escala de produção e a composição produtiva podem ser variáveis importantes para explicar o fenômeno e, até mesmo, intensificá-lo. Todavia, o efeito de escala pode diminuir

esse impacto se aliado com progresso técnico e mudanças na composição produtiva. Dessa forma, o crescimento econômico pode ser uma variável chave para minorar o impacto ambiental à medida que setores menos intensivos em recursos naturais e menos poluentes ganhassem maior participação na economia.

### 3 CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL: UMA BREVE REVISÃO DE LITERATURA

A ideia central da Curva de Kuznets Ambiental (CKA) baseia-se na relação entre degradação ambiental e a renda do país ao longo do tempo. À medida que o processo de desenvolvimento se intensifica, e a renda cresce substancialmente, a economia tende a passar por um processo de minoração dos seus impactos no meio ambiente. Essa premissa básica têm suas raízes nos estudos feitos por Kuznets (1955) ao analisar as evidências empíricas da diminuição da desigualdade decorrente do aumento da renda per capita. Tendo por base países como Alemanha, Grã-Bretanha e os EUA, as observações do autor indicavam haver, ao longo do tempo, diminuição das desigualdades na medida em que o país alcançasse maior grau de desenvolvimento ao passar de uma economia agrícola para uma industrial.

Nos estágios iniciais de desenvolvimento, os países apresentam maior grau de concentração de renda, devido esta ser reflexo da distribuição de renda do setor rural e do setor urbano. Esta última apresenta taxas de crescimento maiores do que o setor rural. Dessa forma, apresenta maior concentração de renda. A disparidade tende a aumentar ainda mais entre os setores em decorrência da maior produtividade do setor urbano. Todavia, para Kuznets (1955), essa disparidade tenderia a diminuir ao longo do tempo em determinado nível de desenvolvimento. Três fatores explicariam esse fenômeno:

Primeiro, porque os indivíduos com altas habilidades seriam também aqueles com altos níveis de renda, de modo que não haveria razão para que seus descendentes tivessem talento o bastante para auferirem altos ganhos. Segundo, porque a população urbana nova, imigrante procedente da zona rural ou do exterior teria condições de tirar menos vantagem das possibilidades da vida na cidade e, portanto, de se apropriar de uma maior parcela da renda, em relação ao que foi possível para a população que imigrou inicialmente. Terceiro, acreditava Kuznets que em sociedades democráticas haveria uma demanda crescente para redistribuição da renda quando a economia crescesse, especialmente porque essas sociedades experimentariam a ampliação do poder político dos grupos urbanos de baixa renda (Arraez; Diniz; Diniz, 2006: 527).

O crescimento econômico seria a chave para minorar a desigualdade em um período futuro. Contudo, mesmo explicando genericamente esse processo de transição para uma economia menos desigual, a partir dos anos 1990 surgem evidências que contestam as alegações de Kuznets ao indicar diferentes formas da relação entre desigualdade e crescimento. Nessa mesma década, os estudos do autor serviram de base, em um ambiente de agitação política a respeito do cuidado do meio ambiente, para a compreensão da relação entre poluição ambiental e crescimento econômico. A forma de U-invertido explicaria, nesse contexto, a ascensão da poluição no processo de transição de uma economia agrária para uma economia industrial e poluente. Mas, ao alcançar um nível de renda elevada, o país utilizará tecnologias mais limpas, terá instituições sólidas para efetiva legislação ambiental e maior cuidado da própria população (Mueller, 2004).

O trabalho de Grossman e Krueger (1991) encontrou evidências empíricas para a relação entre crescimento econômico e meio ambiente no formato de U-invertido. Ao utilizarem amostra *cross-country* e medidas de poluição do ar, os autores notabilizaram-se por analisar econometricamente, de forma pioneira, a reversão de poluentes dado certo nível de renda. Os resultados indicaram haver um ponto de inflexão no acúmulo de dióxido de enxofre e fumaça à medida que a renda aumenta.

A pesquisa realizada por Stern (2002) analisou 64 países no período de 1973 a 1990, tendo por objetivo avaliar as emissões de enxofre e a renda per capita. Os resultados obtidos indicam que as variações nas emissões são decorrentes de mudanças nos fatores que compõem o processo produtivo, como insumos, tecnologia e energia. Mesmo não sendo resultado direto do aumento da renda, a mudança nesses fatores corroboram para a hipótese CKA, uma vez que esses processos são resultado do aumento da riqueza do país.

No estudo de Shafik e Bandyopadhyay (1992) foram estimados dados em painel para 149 países no período de compreende trinta anos, 1960 a 1990. Os autores variáveis de poluições como emissões de carbono, nível de saneamento urbano, oxido de enxofre, oxigênio

dissolvido em rios, coliformes fecais em rios e resíduos per capita. Nos resultados, dois poluentes mostraram-se evidenciar a hipótese da Curva de Kuznets Ambiental. Os resíduos apresentaram elevação com o aumento da renda. O trabalho dos autores indicou que o ponto de inflexão da hipótese CKA permaneceu no nível de renda entre 3.000 e 4.000 dólares.

Os resultados da pesquisa de Selden e Song (1994) indicaram algo mais impactante. Os autores estimaram uma CKA, em dados em painel, para 30 países com relação às emissões de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), nitrato (NO<sub>3</sub>) e monóxido de carbono (CO). No estudo, níveis muito altos de renda podem acarretar em emissões praticamente zero.

No caso brasileiro podemos encontrar alguns estudos para testar a hipótese da Curva de Kuznets Ambiental. O estudo feito por Lucena (2005) propôs a estimação de uma CKA, através de séries temporais, no período de 1970 a 2003. Primeiramente, o autor estimou com o consumo de energia como variável independente, logo após, com as emissões de CO<sub>2</sub>. Para isso utilizou como variáveis independentes, renda per capita, renda per capita ao quadrado, mais renda per capita ao cubo, e algumas variáveis de controle. Os resultados das estimações mostraram-se diferentes. Entretanto, de se faz necessário compreender a importância variável renda no modelo.

Fonseca e Ribeiro (2005) alegam que há relação de aumento na proteção ambiental decorrente do crescimento econômico do país. Por outro lado, Cunha (2008) indica que não existem evidências empíricas claras de demonstram a validade da hipótese da Curva de Kuznets Ambiental para o Brasil no período de 1980 a 2004. Para isso, o autor estimou um modelo com base nos pressupostos originais da CKA para demonstrar a relação do crescimento da renda per capita e as emissões de dióxido de carbono. O estudo indicou haver aumento de 1,68% nas emissões para um aumento em 1% na renda per capita. Contudo, dado o nível de desenvolvimento econômico do país, a matriz produtiva nacional e consciência ambiental, espera-se uma possível reversão desse fenômeno à medida que se atinge um maior nível de desenvolvimento nacional.

### 3 DADOS, MÉTODOS UTILIZADOS, RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Dados

Os dados foram coletados através de fontes secundárias de sites específicos e possuem domínio público. Os dados são provenientes de séries temporais anuais do Brasil que abarcam o período estipulado de 1970 a 2011. A fonte dos dados foi obtida através do Banco Mundial (*World Bank*). A escolha diz respeito à seguridade dos dados bem como a disponibilidade de séries longas e completas. As variáveis utilizadas são as emissões de CO<sub>2</sub> per capita como variável independente e PIB *per capita* como variável explicativa.

#### 3.2 Modelo e métodos utilizados

A orientação do presente estudo tem por base os trabalhos pioneiros sobre a Curva de Kuznets Ambiental desenvolvido por Grossman e Krueger (1991; 1995), no qual estipula uma relação inversamente proporcional entre emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e o PIB per capita. Com isso, percebeu-se que tal relação é verdadeira ou não, dependendo do grau de desenvolvimento econômico de determinado país. Foi estipulada uma regressão que apresente um modelo cúbico para confirmar o comportamento de U-invertido e verificar se posteriormente as emissões tendem a crescer novamente. Dessa forma, é esperado o seguinte resultado para os parâmetros:  $\beta_1 > 0$ ,  $\beta_2 < 0$  e  $\beta_3 = 0$ . O segundo parâmetro indica a concavidade em que a curva se encontra.

A variável dependente usada foi emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) *per capita*. Em relação a variável explicativa, o critério de escolha entende-se pelo grau de aceitação como índice de desenvolvimento econômico. Dessa forma, a variável independente utilizada foi renda per capita. Mesmo sendo o desenvolvimento econômico um fenômeno multidimensional, é plausível a escolha da variável uma vez no modelo CKA original foi utilizada, e também pela sua ampla aceitação internacionalmente. Além disso, incorporado uma variável *Dummy* para analisar o impacto de acordos políticos no combate a mudança climática como o Protocolo de Kyoto. Com isso, anos anteriores a 1998 terão valor 0, e para anos posteriores, 1.

Uma regressão linear descreve a relação entre a variável dependente e as variáveis explicativas. Foi estimado uma equação econométrica cúbica com variáveis explicativas o produto interno bruto per capita, produto interno bruto ao quadrado, produto interno bruto per

capita ao cubo, e *DummyK*, sendo as três primeiras em logaritmo, ou seja, elasticidade. Para melhor nível de ajustamento foi estipulada a retirada a variável constante do modelo. Dessa forma, a equação que pretende explicar a Curva de Kuznets Ambiental para o Brasil no período estipulado é a seguinte:

$$D\ln CO_2 = D\ln \beta_1(PIB) + D\ln \beta_2(PIB)^2 + D\ln \beta_3(PIB)^3 + DummyK + \mu \quad (1)$$

Onde,

D: variáveis defasadas em 1 período;

$CO_2$ : emissão de dióxido de carbono per capita (milhões de toneladas métricas);

PIB: produto interno bruto per capita;

*DummyK*: variável *dummy* referente a assinatura do Protocolo de Kyoto, onde 0 para períodos anteriores a 1998 e 1 para posteriores;

$\mu$ : resíduo.

Para identificar se há problemas com o modelo econométrico proposto, foram utilizados testes KPSS, autocorrelação, teste de Breusch-Pagan. Segundo Wooldridge (2011), o teste de Breusch-Pagan tem como objetivo identificar heterocedasticidade.

Primeiramente, foi feito o teste KPSS antes da estimação, a fim de verificar, conforme Gujarati (2000), se a série temporal estabelecida é estacionária. Conforme a tabela 1 indica, rejeita-se a hipótese de estacionaridade das variáveis a 10%. Para tanto, para melhor ajustamento, o modelo foi defasado em 1 período em decorrência de rigor empírico. Dessa forma, percebe-se que o modelo identifica estacionaridade.

Tabela 1 – Teste KPSS de estacionaridade

Variável	KPSS <sup>1</sup>	KPSS (defasado)
lnCO2	1,14015	0,164516
lnPIB	1,08325	0,117979
lnPIB <sup>2</sup>	1,08543	0,106512
lnPIB <sup>3</sup>	1,08668	0,100062

<sup>1</sup> 10% 5% 1%  
 Valores críticos do teste KPSS: 0,352 0,462 0,720  
 Fonte: elaborado pelo autor.

### 3.3 Resultados e discussões

A Curva de Kuznets Ambiental apresenta uma relação inversa entre degradação ambiental e desenvolvimento econômico. Em um primeiro momento, as emissões se intensificarão a medida que o país passa por um processo mais intenso de industrialização e crescimento econômico. Após o período inicial, teoricamente as emissões tende a decrescer com o maior grau de desenvolvimento como exposto anteriormente.

Conforme a tabela 2 pode-se perceber que o p-valor (0,019) do teste LM indicou que não existe problema de autocorrelação, ou seja, não há evidência estatística, ao nível de significância de 5%, para rejeitar a hipótese nula do modelo sem autocorrelação. Do mesmo modo, o teste Breusch-Pagan reportou um p-valor de 0,543699, i.e. não há evidência estatística, ao nível de significância de 1%, de problemas de heterocedasticidade.

Tabela 2 – Resultados dos testes de autocorrelação (LM) e heterocedasticidade (BP)

Teste	Autocorrelação (LM)	Breusch-Pagan
P-valor	0,019233	0,543699



Fonte: elaborado pelo autor.

Foi estimada a equação (1) com defasagem em 1 período, afim de gerar a regressão com variáveis estacionárias –  $I(1)$ , no intuito de encontrar evidências empíricas da Curva de Kuznets Ambiental para o Brasil no período estipulado. Percebe-se, através da tabela 2, que as variáveis são estatisticamente significativas. A variável PIB quadrática corroborou com a teoria, demonstrando que há um ponto de inflexão nas emissões em determinado nível de renda *per capita*. Entretanto, esse decrescimento demonstra-se demasiadamente limitado. Por outro lado, a forma cúbica se apresenta como significativa. Isso nos permite compreender que no longo prazo a tendência é que haja crescimento nas emissões de dióxido de carbono para o Brasil.

Para cada aumento percentual no produto *per capita*, há aumento nas emissões de  $CO_2$ . Há também uma ligeira queda nas emissões como demonstra o coeficiente quadrático. Contudo, a variável *DummyK* que indica a assinatura do tratado de redução das emissões de gases poluentes, o Protocolo de Kyoto, não foi significativa. Dessa forma, percebe-se que tratados internacionais do meio ambiente podem não ter impacto desejado em políticas de mitigação da poluição.

Tabela 3 – Resultados das estimativas da Curva de Kuznets Ambiental para o Brasil no período (1970 - 2011)

Variável	Coeficiente	Erro Padrão
DlnPIB	78,3914***	22,2887
DlnPIB <sup>2</sup>	-2,9161***	0,8442
DlnPIB <sup>3</sup>	0,0362***	0,0106
DummyK	0,0079	0,0125

Fonte: elaborado pelo autor.

Podemos identificar, através dos resultados, que há aumento nas emissões de dióxido de carbono para cada aumento percentual no PIB *per capita*. Esses resultados indicam uma ligeira redução nas emissões, a médio prazo, para o Brasil no período tratado. Por outro lado, percebe-se uma tendência de retorno ao aumento nas emissões no longo prazo.

Há uma relação para as emissões de  $CO_2$  em função do PIB *per capita* que se apresenta em forma de “N”, não corroborando com a hipótese original do modelo. Podemos indicar também que tratados internacionais de combate à mudança climática, decorrente das emissões de gases do efeito estufa, não possuem impacto significativo em políticas efetivas para redução da poluição.

Com os resultados obtidos, podemos observar evidências empíricas que o processo de desenvolvimento econômico (PIB *per capita*, no nosso caso) não contribui isoladamente para a diminuição da emissão de dióxido de carbono. Ou seja, em períodos iniciais do desenvolvimento, onde o processo de industrialização é mais intenso, há impacto ecológico substancialmente maior. Contudo, ao longo desse processo, essa tendência não demonstrou uma inversão significativa. Países mais desenvolvidos podem apresentar impacto ambiental menos significativos, uma vez que sua matriz produtiva apresenta maior eficiência técnica e produtiva, e tende a possuir uma consciência ambiental socialmente mais elevada.

Para o caso brasileiro, fica evidente a tendência de aumento nas emissões dada as características da sua matriz produtiva altamente baseada em setores intensivos em recursos naturais. A indústria brasileira tendeu a um processo de reprimarização em direção à produção intensiva de recursos naturais. A reespecialização da economia para a produção de *commodities* indica o processo de redução da participação da dinâmica industrial no produto brasileiro.

Ao longo da década de 1980 e 1990, a estrutura produtiva brasileira evoluiu de forma heterogenia em comparação com o restante dos países que adentraram e se adaptaram ao novo paradigma microeletrônico. Os setores da indústria nacional mais dinâmicos mantiveram um movimento de grande estagnação (Cassiolato, 2001).



Esse fenômeno representa um aspecto da economia nacional “em direção a setores” não “típicos do paradigma microeletrônico” que “é seguido por um aumento significativo da participação das indústrias processadoras de recursos naturais no produto total da indústria” (Arend & Fonseca, 2012: 43).

Ademais, dentro das cadeias produtivas internacionais, a economia brasileira tem por característica fundamental ser um grande ofertante de bens primários, cujo impacto no meio ambiente e a liberação de gases poluentes é acentuada. O país tem se demonstrado um fornecedor de matérias primas e alimentos para o mundo, estando distante da produção manufatureira com alto valor agregado (Reis & Souza, 2015), que por sua vez, diminuiria o impacto negativo no meio ambiente como sugere a hipótese original.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através do modelo original da CKA, estimado para o caso brasileiro, não encontramos evidências substantivas para a relação inversa entre crescimento do produto *per capita* e as emissões de dióxido de carbono para determinado nível de desenvolvimento econômico. Compreende-se também, através do modelo, que as emissões de  $CO_2$  tendem, em longo prazo, a se intensificar. São necessárias estratégias de mitigação das emissões aliada a um planejamento de desenvolvimento econômico efetivo para a reversão dessa tendência.

A estimação da Curva de Kuznets Ambiental é um dos diversos instrumento de mensuração do impacto ambiental (poluição, no nosso caso) provocado pelo processo de desenvolvimento econômico. Contudo, pode não ser suficiente para compreender a dinâmica relacional entre crescimento do produto e a intensificação das emissões de gases do efeito estufa. É necessária a incorporação de outras variáveis de controle, bem como elementos desencadeantes de impactos negativos no meio ambiente, tais como, por exemplo, aumento populacional, setores intensivos no uso de recursos naturais, e as estratégias de desenvolvimento econômico proposta pelo país.

Dadas às particularidades das economias capitalistas, fica evidente as limitações encontradas na análise de diferentes países. A tendência de aumento nas emissões de gases poluentes pelo Brasil no longo prazo pode ser compreendida pela sua estrutura produtiva, onde os setores intensivos em recursos naturais possuem um papel fundamental na dinâmica nacional. Dado o papel relevante da agropecuária e dos setores de *commodities* em geral no produto nacional, o Brasil encontra-se em uma tendência de aumento nas emissões de gases do efeito estufa.

Fica explícito, desse modo, que para o caso brasileiro a CKA demonstra que as emissões, no longo prazo, se intensificarão. As políticas de combate à mudança climática devem ser prioridade no intuito de mitigar os impactos ambientais negativos. Devem ser intensificadas juntamente com as estratégias de crescimento econômico, a fim de direcionar o desenvolvimento de forma sustentada e sustentável. Como sugere a hipótese original, um nível elevado de desenvolvimento produtivo baseado em setores com elevado grau de tecnologia incorporada pode ser significativo para a redução dos impactos ambientais. Entretanto, não se configura para o caso brasileiro devido suas características produtivas elencadas anteriormente. O papel do progresso técnico é essencial no processo de mitigação das emissões de gases poluentes. É de fundamental importância analisar, em estudos posteriores, como a economia nacional tem se desempenhado na incorporação de tecnologias mais limpas no processo produtivo.

#### REFERÊNCIAS

- Alier, Juan Martínez. (2007): “O ecologismo dos pobres: conflitos ambientais e linguagens de valoração”. São Paulo: Editora contexto.
- Anderson, Kent P. (1972): “Optimal Growth When the Stock of Resources is Finite and Depletable”. *Journal of Economic Theory*, v. 4, p.256-267.
- Arend, Marcelo; Fonseca, Pedro Cezar Dutra. (2012): “Brasil (1955-2005): 25 anos de catching up, 25 anos de falling behind”. *Revista de Economia Política*, vol. 32, nº 1 (126), pp. 33-54.
- Arraes, Ronald A.; Diniz, Marcelo B.; Diniz, Márcia J. T. (2006): “Curva Ambiental de Kuznets e o Desenvolvimento Econômico Sustentável”. *RER*, Rio de Janeiro, vol. 44, nº 03, p. 525-547.

Barros, Fernanda Gene Nunes; Amin, Mario Miguel. (2006): “Os recursos naturais e o pensamento econômico”. *XLIV Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, SOBER*.

Bruseke, Franz J. (1995): “O Problema do Desenvolvimento Sustentável”. In: CAVALCANTI, Clóvis. *Desenvolvimento e Natureza: Estudos para uma sociedade sustentável*. 2. ed. São Paulo: Cortez Editora.

Cassiolato, J. E. (2001): “Que futuro para a indústria brasileira?” In: *O Futuro da Indústria: Oportunidades e Desafios*. A Reflexão da Universidade. Brasília.

Cunha, C. A. (2008): “Curva de Kuznets Ambiental: Estimativa Econométrica Usando CO2 e PIB per capita”. In: *Anais do XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural*. Rio Branco.

Fonseca, L. N.; Ribeiro, E. P. (2005): “Preservação ambiental e crescimento econômico no Brasil”. In: *Anais do VII Encontro de Economia da Região Sul*. Porto Alegre: ANPEC.

Foster, J. B. (2000): “Capitalism’s Environmental Crisis: is technology the answer?” *Monthly Review*, v. 52(7), p. 1-13.

Franco, Maria de Assunção Ribeiro. (2008): “Planejamento Ambiental para a Cidade Sustentável”. Annablume: Fapesp . 2º Edição.

Grossman, G.; Krueger, A. (1991): “Environmental impacts of a North American free trade agreement”. *NBER, National Bureau of Economic Research*, Working Paper 3914. Cambridge, MA.

Grossman, G.; Krueger, A. (1995): “Economic Growth and Environment”. *The Quarterly Journal of Economics*. May, p. 353-377.

Gruver, Gene W. (1976): “Optimal Investment in Pollution Control Capital in a Neoclassical Growth Context”. *Journal of Environmental Economics and Management*, v.3, p.165-177.

Gujarati, D. N. (2000): *Econometria básica*. 3.ed. São Paulo: Makron Books, 2000.

KUZNETS, Simon. “Economic Growth and Income Inequality”. *American Economic Review*, v.45, p.1-28. 1995.

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

Mishan, E. J. (1969): “The Costs of Economic Growth”. Ringwood; Vic, Pinguin Australia.

Montibeller-Filho, Gilberto. (2007): “Crescimento Econômico e Sustentabilidade”. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, 19 (1): 81-89, jun.

Montibeller-Filho, Gilberto. (2004): “O Mito do Desenvolvimento Sustentável”. Editora da UFSC. Florianópolis.

Mueller, Charles C. (1996): “Economia e meio-ambiente na perspectiva do mundo industrializado: uma avaliação da economia ambiental neoclássica”. *Estudos Econômicos*, v. 26, n. 2.

\_\_\_\_\_. (2004): “Os Economistas e as Inter-relações Entre o Sistema Econômico e o Meio Ambiente”. *NEPAMA*. Departamento de Economia – UnB.

Reis, Cristina Fróes de Borja; Souza, Rogério Cesar de. (2015): “Produtividade e custo do trabalho na indústria de transformação no Brasil e em países selecionados: implicações para a inserção nas cadeias globais de valor”. In: BARBOSA, Nelson, et al. *Indústria e Desenvolvimento Produtivo no Brasil*. Elsevier – Campus.

Romeiro, Ademar Ribeiro. (2003): “Economia ou Economia política da sustentabilidade”. In: MAY, Peter H.; LUSTOSA, Maria Cecília; VINHA, Valéria da. *Economia do meio ambiente: Teoria e pratica*. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Campus.

Selden, Thomas; Song, Daqing. (1994): "Environmental Quality and Development: Is There a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions?" *Journal of Environmental Economics and Management*, Volume 27, Issue 2, p.147-162.

Shafik, Nemat; Bandyopadhyay, Sushenji. (1992): "Economic Growth and Environmental Quality: Time-Series and Cross-Country Evidence". In: *World Development Report*.

Smith, Vernon. (1997): "Control Theory Applied to Natural and Environmental Resources". *Journal of Environmental Economics and Management*, v. 4, p.1-14.

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

Stern, D. I. (2002): "Explaining changes in global sulfur emissions: an econometric decomposition approach". *Ecological Economics*, 42: 201-220.

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

Woodrigde, Jeffrey M. (2011): "Introdução à Econometria: uma Abordagem Moderna". Cengage. 4ª edição. São Paulo.