

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO SOCIOECONÔMICO
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA E RELAÇÕES INTERNACIONAIS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ECONOMICAS

Gustavo Cabral de Barros

A Curva Ambiental de Kuznets:
Uma Análise para os municípios brasileiros

Florianópolis

2022

Gustavo Cabral de Barros

A Curva Ambiental de Kuznets:
Uma Análise para os municípios brasileiros

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Ciências Econômicas do Centro de Socioeconômico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas

Orientador: Prof. Guilherme de Oliveira, Dr.



Documento assinado digitalmente

Guilherme de Oliveira

Data: 14/12/2022 10:25:06-0300

CPF: ***.330.160-**

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Barros, Gustavo

A Curva Ambiental de Kuznets : Uma Análise para os municípios brasileiros / Gustavo Barros ; orientador, Guilherme de Oliveira, 2022.

57 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Sócio Econômico, Graduação em Ciências Econômicas, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Ciências Econômicas. 2. Ciências Econômicas. 3. Curva Ambiental de Kuznets. 4. Regressão Quantílica. 5. Cross Section. I. de Oliveira, Guilherme. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Ciências Econômicas. III. Título.

Gustavo Cabral de Barros

A Curva Ambiental de Kuznets: Uma Análise para os municípios brasileiros

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel e aprovado em sua forma final pelo Curso Ciências Econômicas

Florianópolis, 06 de dezembro de 2022.

Prof. Helberte João França Almeida, Dr.
Coordenação do Curso

Banca examinadora



Documento assinado digitalmente
Guilherme de Oliveira
Data: 14/12/2022 10:25:06-0300
CPF: ***.330.160-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Guilherme de Oliveira, Dr.
Orientador

Prof. Cassiano Ricardo Dalberto, Dr.
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Helberte João França Almeida, Dr.
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 2022.

Dedico este trabalho a todos que me apoiaram nessa trajetória,
me permitindo alcançar meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer os meus pais, Itagiba Barros e Rosangela Barros, por todo apoio que me deram durante todo o meu desenvolvimento, que sempre me ajudaram quais quer que fossem os problemas e sempre me permitiram começar etapas novas na minha vida, em graduações, cidades e estados diferentes. Sou extremamente agradecido aos dois e eles são o motivo de eu conseguir concluir essa etapa.

Quero agradecer ao meu professor orientador, Guilherme de Oliveira, que do começo da graduação até o fim, foi minha maior inspiração como economista. Posso dizer que foi uma honra conhecê-lo e um privilégio ter trabalhado junto dele.

Agradeço a minha parceira, Isis Mello, que foi uma pessoa que desde que conheci, me inspira e faz querer ser uma pessoa melhor. Você sempre esteve ao meu lado, sua presença na minha vida fez tudo melhorar e me deu a coragem que eu precisava para que eu fosse atrás dos sonhos que eu tinha. Fico muito contente do caminho que fizemos juntos e pelo futuro que temos pela frente. Agradeço também as nossas gatas, Amora e Margherita, que apesar de muito safadas, são carinhosas e fofas demais.

Agradeço a minha família, em especial meus irmãos, Camila, Carol e Leonardo. A relação com vocês três sempre foi muito especial para mim, e sei que sempre vou ter apoio e carinho de vocês. Muito obrigado por pela nossa irmandade.

Agradeço aos meus amigos Lutti, Bruxo e Canterucci, que durante a minha vida, sempre me proporcionaram momentos muito felizes e engraçados, e mesmo estando a 7 anos afastado de vocês, morando em outra cidade e, depois em outro estado, sempre continuaram sendo meus melhores amigos, vocês são incríveis demais. Agradeço também ao meu amigo Piero, que esteve ao meu lado nos momentos difíceis que vivi, e a sua amizade me ajudou profundamente naquele momento ruim que eu estava passando, e pode ter certeza de que te valorizo muito. Aos meus amigos de Floripa, Bruno e Nicole, agradeço por ter vocês, e mesmo com o pequeno período, fico muito contente de ter encontrado e feito amizade, espero que mesmo cada um seguindo seu caminho em locais diferentes, continuemos amigos.

Por fim agradeço a mim mesmo e a todos que me ajudaram e possibilitaram chegar a este momento.

RESUMO

A relação entre crescimento econômico e degradação ambiental é muito estudada desde a publicação do artigo de Grossman e Krueger em 1995, que propôs que o comportamento entre elas se assemelha ao de uma curva de Kuznets, que possui um formato de “U” invertido, surgindo assim o conceito da curva ambiental de Kuznets (CAK). Desde então novos estudos sobre o tema, sugeriram que o comportamento é no formato “N”, com o aumento da poluição conforme a economia cresce, até chegar em um ponto de virada, que começa a diminuir o crescimento da poluição até chegar em outro ponto voltar a crescer. A presente monografia, buscou responder se a relação entre crescimento econômico e degradação ambiental no Brasil é de uma CAK, e caso seja, se é no formato quadrático como “U” invertido, ou cúbico como “N”. Para isso, foi realizado um estudo econométrico utilizando dados em *cross-section* para 5550 municípios brasileiros nos anos de 2005, 2010, 2015 e 2019, considerando o CO₂ equivalente *per capita* (CO₂*epc*), o representante da degradação ambiental, e para explicá-lo, foi escolhido o PIB *per capita*, que representa o crescimento econômico, bem como a participação da agropecuária, indústria e serviços no PIB, distância da capital e *dummies* regionais. Para estimar as curvas, foi utilizado o estimador de mínimos quadrados ordinários (MQO) e, para cada ano, os resultados foram compilados em uma análise de sensibilidade, que comparou os modelos quadráticos e cúbicos, e a partir de alguns critérios foi escolhido um melhor modelo para cada ano analisado. Além disso foram realizadas as regressões quantílicas para o melhor modelo estimado de cada ano nos percentis de 15%, 30%, 45%, 60%, 75% e 90%, a fim de analisar qual o comportamento da curva em diferentes níveis de renda. Os resultados obtidos trazem evidências empíricas de que, para todos, os anos o modelo quadrático, que possui um formato de “U” invertido não é o ideal para representar o comportamento de uma CAK, quando comparado ao modelo cúbico, este que melhor representou a relação entre o crescimento econômico e degradação ambiental, levando em consideração que em nenhum momento houve a diminuição da emissão, mas sim, uma desaceleração, que deixa constante o nível de emissão de CO₂*epc* em uma faixa de crescimento do PIB *per capita*, e que voltam a crescer ao elevar ainda mais o PIB *per capita*. Os resultados da regressão quantílica mostram que até o percentil de 75% os formatos das curvas são relativamente iguais ao encontrado nos estimados pelo MQO, e para municípios com renda mais elevada o padrão se manteve estável com apenas 1 ano possuindo um formato diferente. Estes resultados adicionam à literatura brasileira que versa sobre a CAK, que atualmente carece de pesquisas realizadas em âmbito nacional e a nível municipal.

Palavras-chave: *Cross-section*; Regressão Quantílica; PIB e CO₂

ABSTRACT

The relationship between economic growth and environmental degradation has been studied since the publication of the article by Grossman and Krueger in 1995, which proposed that the behavior between them is similar to that of a Kuznets curve, which has an inverted “U” shape, thus the concept of the environmental Kuznets curve (EKC) was born. Since then, new studies on the subject have suggested that the behavior is in the format of an “N”, with an increase in pollution as the economy grows, until reaching a turning point, which begins to decrease the growth of pollution until reaching another turning point which the increase is resumed. This final paper sought to answer whether the relationship between economic growth and environmental degradation in Brazil is a EKC, and if so, whether it is in a quadratic format such as an inverted “U”, or cubic as an “N”. For this, an econometric study was carried out using cross-section data for 5550 Brazilian municipalities in the years 2005, 2010, 2015 and 2019, considering the CO₂ equivalent *per capita* (CO₂*epc*), the representative of environmental degradation, and to explain it, GDP *per capita* was chosen, which represents economic growth, as well as the participation of agriculture, industry and services in GDP, distance from the state capital and regional dummies. To estimate the curves, the ordinary least squares (OLS) estimator was used, and, for each year, the results were compiled in a sensitivity analysis, which compared the quadratic and cubic models, and based on pre-established criteria, the model that was better fit was chosen to be compared to another year’s results. In addition, quantile regressions were performed for the best estimated model of each year at the 15%, 30%, 45%, 60%, 75% and 90% percentiles, to analyze the behavior of the curve at different income levels. The results obtained adds empirical evidence that, for all years, the quadratic model, which has an inverted “U” shape, is not ideal to represent the behavior of a EKC, when compared, the cubic model, which best represent the relationship between economic growth and environmental degradation, taking into account that at no time has there been a decrease in emissions, that would make the “N” format, but rather a deceleration, which keeps the level of CO₂*epc* emission constant in a range of GDP *per capita* growth, and that they grow again with further GDP *per capita*, increase. The results of the quantile regression show that up to the 75th percentile, the shapes of the curves are relatively equal to those found in those estimated by the OLS, and for municipalities with higher incomes, the pattern remained stable with only 1 year having a different shape. These results add to the Brazilian literature that deals with EKC, which currently lacks research carried out at the national and municipal levels.

Keywords: Cross-section ; Quantile Regression; GDP and CO₂.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Comparação das dispersões entre o $\ln\text{CO}_2\text{epc}$ e $\ln\text{PIBpc}$ de 5550 municípios brasileiros nos anos de 2005, 2010, 2015 e 2019.	31
Figura 2 - Ajustamento das curvas dos melhores modelos de 2005, 2010, 2015 e 2019 entre o $\ln\text{CO}_2\text{epc}$ e $\ln\text{PIBpc}$	39
Figura 3 - Ajustamento das curvas dos quantis de 15%, 30%, 45%, 60%, 75% e 90% e do modelo em MQO para o ano de 2005 entre o $\ln\text{CO}_2\text{epc}$ e $\ln\text{PIBpc}$	42
Figura 4 - Ajustamento das curvas dos quantis de 15%, 30%, 45%, 60%, 75% e 90% e do modelo em MQO para o ano de 2010 entre o $\ln\text{CO}_2\text{epc}$ e $\ln\text{PIBpc}$	43
Figura 5 - Ajustamento das curvas dos quantis de 15%, 30%, 45%, 60%, 75% e 90% e do modelo em MQO para o ano de 2015 entre o $\ln\text{CO}_2\text{epc}$ e $\ln\text{PIBpc}$	44
Figura 6 - Ajustamento das curvas dos quantis de 15%, 30%, 45%, 60%, 75% e 90% e do modelo em MQO para o ano de 2019 entre o $\ln\text{CO}_2\text{epc}$ e $\ln\text{PIBpc}$	45

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Variáveis pertencentes aos modelos elaborados.	24
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estatísticas descritivas de algumas das variáveis não binárias para os anos de 2005, 2010,2015 e 2019 de 5550 municípios brasileiros.	29
Tabela 2 - Resultado das regressões com o coeficiente, erro padrão e grau de significância das variáveis de cada modelo, para o ano de 2005.....	33
Tabela 3 - Resultado das regressões com o coeficiente, erro padrão e grau de significância das variáveis de cada modelo, para o ano de 2010.....	35
Tabela 4 - Resultado das regressões com o coeficiente, erro padrão e grau de significância das variáveis de cada modelo, para o ano de 2015.....	36
Tabela 5 - Resultado das regressões com o coeficiente, erro padrão e grau de significância das variáveis de cada modelo, para o ano de 2019.....	37
Tabela 6 - Resultados dos melhores modelos escolhidos para os anos de 2005, 2010, 2015 e 2019.	38

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS	15
1.1.1	Objetivo Geral.....	15
1.1.2	Objetivos específicos	15
1.2	Estrutura da Monografia	16
2	Literatura Relacionada	17
3	Procedimentos Metodológicos.	23
3.1	Coleta e Tratamento de Dados.....	26
4	Resultados e Discussão	29
4.1	Estatísticas descritivas das variáveis.	29
4.2	Resultados obtidos	32
4.3	Comparação dos melhores modelos de cada ano	38
4.4	Regressão Quantílica	41
5	Conclusão	47
	REFERÊNCIAS	49
	APÊNDICE A	52
	APÊNDICE B.....	57

1 INTRODUÇÃO

Existem muitos artigos que buscam entender como é a relação entre crescimento econômico e a degradação ambiental. Simon Kuznets em 1955 expôs suas ideias de como era o comportamento entre a desigualdade de renda e crescimento econômico e, com isso, Grossman e Krueger (1995,1996) propuseram um relacionamento análogo para analisar o comportamento do crescimento econômico com o impacto ambiental.

O aumento do impacto ambiental devido ao crescimento econômico pode ser decomposto em três tipos de efeitos (GROSSMAN; KRUEGER, 1991). O primeiro deles é o efeito de escala, que captura a intuição do senso comum de que havendo uma expansão na atividade econômica, e a natureza da atividade e o tipo de produção se manterem inalterados, a quantidade de total de poluição aumentará em escala. Por exemplo, a combustão de combustíveis fósseis, indústrias de produção, extração de árvores, quando não são alteradas as técnicas e tecnologias, quando aumentam em número ou intensidade, a poluição aumentará em escala conjuntamente. Mesmo em setores que não produzam diretamente, como serviços, com o aumento de intensidade, a demanda por energia elétrica, transporte etc. aumentam também a poluição.

O segundo efeito é o de composição, que é resultando das políticas comerciais entre países e regiões. Quando o comércio é liberado entre diferentes municípios, estados ou países, cada um se especializa nos setores em que tenham vantagens competitivas, e se essas vantagens derivam em grande parte das diferenças na regulamentação ambiental, então o efeito da liberação da comercialização terá um impacto negativo no meio ambiente. Cada região tenderá a se especializar nas atividades que possuem menores regulações por parte do governo. As indústrias sairão de regiões nas quais os custos de poluir sejam maiores e mudarão para as regiões que as leis ambientais são mais “fracas”. Esse efeito é percebido quando países desenvolvidos transferem suas indústrias ou deixam de produzir nacionalmente e dependem da oferta de países subdesenvolvidos e em desenvolvimento, causando um impacto ambiental maior nos países que produzem.

E, por último, há um efeito técnico, no qual o aumento da produção é devido a uma mudança nas tecnologias e técnicas empregadas na produção. Ao elevar o nível técnico, o aumento de poluição por unidade de produto econômico pode diminuir (GROSSMAN;

KRUEGER, 1991). Isso é aplicado, especialmente, para países subdesenvolvidos e em desenvolvimento, a partir da comercialização com os países estrangeiros que desejam transferir tecnologias modernas para a economia local quando as restrições ao investimento estrangeiro são flexibilizadas. Geralmente as tecnologias modernas são mais limpas do que as tecnologias mais antigas devido à crescente conscientização global sobre a urgência das preocupações ambientais. Em segundo, é de que se houver um aumento nos níveis de renda devido à melhora da tecnologia, então os órgãos públicos e a população terão maior liberdade de exigir um meio ambiente mais limpo como expressão de sua maior riqueza nacional. Portanto uma rigidez maior nos padrões de poluição e aplicação mais rigorosa das leis ambientais são uma resposta ao crescimento econômico.

Na década de 1990, o impacto ambiental devido aos crescimentos das economias foi bastante discutido e a curva de Kuznets ambiental foi colocada como referência para explicar a relação entre eles. Esse primeiro artigo de Grossman e Krueger em 1991 sobre o tema, e muitos outros, foram aplicados a uma ampla gama de questões ambientais, desde um estudo sobre espécies ameaçadas (MCPHERSON; NIESWIADOMY, 2005) até fertilizantes nitrogenados (ZHANG *et al.*, 2015) e é encontrado até mesmo em livros didáticos introdutórios (por exemplo, FRANK *et al.*, 2012), ainda mantendo-se o debate na literatura acadêmica (por exemplo, CARSON, 2010; KAIKA; ZERVAS, 2013; CHOW; LI, 2014; WAGNER, 2014). A importância de estudos como esses é de que ajudam a governos terem maior conhecimento para realizarem políticas, sejam ambientais ou comerciais em seus países, fazendo assim decisões mais inteligentes.

Assim, a presente monografia buscou responder ao seguinte problema: como os municípios brasileiros nos anos de 2005, 2010, 2015 e 2019 desenvolveram-se economicamente e ambientalmente em relação ao nível de renda e a degradação ambiental?

Para isto, foi utilizada a técnica de dados em *cross-section* para os municípios brasileiros, utilizando-se de indicadores socioeconômicos e ambientais como a emissão de gás carbônico equivalente *per capita* (CO₂*epc*), produto interno bruto *per capita* (PIB_{pc}), participação da agropecuária, indústria e serviços no PIB, distância da capital e *dummies* regionais, obtidos através da pesquisa em arquivos e banco de dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Instituto Brasileiro de Geografia e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e do Seminário Nacional sobre Emissões de Gases de Efeito estufa.

Além desta introdução, o presente estudo está dividido em quatro seções. Sendo a seção 2 a que apresenta a literatura relacionada que busca compreender o surgimento da teoria, como evoluiu ao decorrer do tempo e quais evidências empíricas existem. A seção 3 versa sobre os procedimentos metodológicos proposto no estudo. Por fim as seções 4 e 5 se reservam à análise e discussão dos resultados e às considerações finais, respectivamente.

Apesar de existirem algumas pesquisas da área sobre o Brasil, carecem estudos aprofundados a nível municipal para todo o país. Essa monografia e seus resultados vão adicionar à literatura fazendo uma pesquisa que abrange todo o território nacional, com 5550 municípios. Além disso, na literatura brasileira que versa curva ambiental de Kuznets, também carece de pesquisas utilizando dados em *cross-section* e que foram utilizados os métodos de mínimos quadrados ordinários e feitas regressões quantílicas. Portanto a presente monografia, da maneira que foi realizada, busca ajudar na compreensão do relacionamento do crescimento econômico e os impactos ambientais nos municípios brasileiros entre 2005 e 2019.

1.1 OBJETIVOS

A presente seção detalha os objetivos da pesquisa.

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta monografia é estimar econometricamente o padrão de relacionamento empírico entre o aumento da poluição e o crescimento econômico dos municípios brasileiros no período 2005 a 2019.

1.1.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos, citam-se:

- a) Revisar a literatura da relação entre crescimento econômico e meio ambiente que versa sobre a curva ambiental de Kuznets.
- b) Realizar um levantamento e tratamento de dados secundários de renda *per capita* e emissão de dióxido de carbono dos municípios brasileiros.
- c) Estimar o formato do relacionamento empírico entre o crescimento econômico e aumento da poluição para os municípios brasileiros nos anos de 2005, 2010, 2015 e 2019.

1.2 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA

Esta monografia contará primeiro com uma revisão da literatura, na qual será analisado o surgimento da curva de Kuznets ambiental no artigo original de Grossman e Krueger em 1991, e após isso uma análise de como a CAK evoluiu na literatura comentando alguns artigos publicados que a expandem. Por fim será analisado alguns artigos brasileiros que tratam sobre a CAK e descrito qual tipo de regressão foi realizada, qual parte do país e quais resultados foram alcançados. Na metodologia será apresentado a equação utilizada nesta monografia e quais variáveis explicativas foram utilizadas nos modelos. Além disso será apresentado como foi feito a coleta e tratamento de dados das variáveis utilizadas nas regressões e qual tipo de regressão foi realizada.

Após isso é apresentado os principais resultados obtidos nas regressões de cada ano, juntamente com uma análise de sensibilidade demonstrando. Também terá gráficos do formato da curva resultante e uma comparação com os resultados em *cross-section* e da regressão quantílica. Por fim na conclusão retomamos os objetivos já especificados e como foram atingidos no decorrer da monografia, e incluímos o que achamos que faltou ser feito nessa monografia e o que gostaríamos que fosse feito em trabalhos futuros.

2 LITERATURA RELACIONADA

Simon Kuznets (1955) formulou que a taxa de crescimento da desigualdade eventualmente começaria a diminuir conforme o aumento da riqueza do país, por três principais motivos, sendo o primeiro deles de que 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.

Até 1980 o consenso era de que com o crescimento das economias o impacto ambiental também crescia em escala. Durante os anos 80 surgiu a ideia de desenvolvimento sustentável, que se baseia na ideia de que o desenvolvimento não era necessariamente prejudicial ao meio ambiente e, na verdade, a redução da pobreza era essencial para a proteção ambiental (WCED, 1987).

Com o conceito de desenvolvimento sustentável sendo debatido, Grossman e Krueger (1991) publicaram um artigo que tratava sobre os potenciais impactos que o Tratado Norte-Americano de Livre Comércio (NAFTA) poderia realizar no México, e nele foi o primeiro estudo empírico que pode observar-se o conceito da CAK. Foi descoberto que os níveis ambientais de dióxido de enxofre e “fumaça”, ou matéria escura, suspensos no ar aumentam com o PIB *per capita* em níveis baixos de renda nacional, mas diminuem com o PIB *per capita* em níveis mais altos de renda e que o ponto que ocorre a virada da curva no qual o crescimento da emissão de poluentes começa a diminuir é entre US\$ 4.000 e US\$ 5.000, com base no dólar americano de 1985 (GROSSMAN; KRUEGER, 1991). Enquanto para a massa de partícula suspensas em um determinado volume de ar, o comportamento da relação com o crescimento do PIB *per capita* é monotonicamente decrescente.

Para a realização dos estudos, Grossman e Krueger utilizaram dados publicados pela colaboração da Organização Mundial da Saúde (OMS) com o Programa das Nações Unidas

para o Meio Ambiente (PNUMA) na operação do Sistema de Monitoramento Ambiental Global (GEMS). Esse projeto tinha como objetivo monitorar de perto as concentrações de vários poluentes em uma seção transversal de áreas urbanas, usando métodos padronizados de medição e possibilitou a análise de como a qualidade do ar varia com crescimento econômico. Foram coletados dados diários da concentração de dióxido de enxofre (SO₂) e matéria suspensa no ar de 42 países para o SO₂, 19 países para a matéria escura e 29 países para partículas suspensas no ar, com os países variando entre desenvolvidos e em desenvolvimento, sendo escolhidas diferentes regiões do mundo para representar as variadas condições geográficas existentes (BENNETT *et al.*, 1985). As medições da qualidade do ar nas cidades da pesquisa foram feitas em dois ou três locais diferentes, sendo eles o centro da cidade ou suburbano, comercial, industrial ou residencial. A importância de monitorar em diversos locais na mesma cidade é devido ao fato de que as concentrações de poluentes podem variar dramaticamente com as condições locais que dependem em parte do uso da terra.

Foram utilizados dados em painel das medições ambientais dos diversos países coletados e para a estimação de SO₂ foram utilizadas algumas variáveis explicativas, sendo elas a função cúbica do PIB *per capita*, as características dos locais da coleta e uma tendência temporal. Os dados dos PIBs *per capita* foram publicados por Summers e Heston (1991), que tentam medir um conjunto comum de preços internacionais. Foram criadas *dummies* para que o coeficiente do PIB *per capita* variasse entre faixas de renda a cada US\$ 2.000. Também foram incluídas *dummies* para caso a localização da coleta seja dentro da cidade (cidade central ou suburbana) e para o uso do solo da área próxima ao local de teste (industrial, comercial ou residencial). Além disso, fizeram variáveis *dummies* para o método de medição dos gases e partículas, uma *dummy* que verifica se a cidade era litorânea ou não, uma *dummy* para a densidade populacional e mais uma *dummy* para saber se a cidade era localizada em um país comunista ou não. E, por fim, foi adicionada uma tendência linear de tempo que verifica a possibilidade de que a poluição esteja diminuindo ou aumentando em todo o mundo, devido ao aumento da conscientização global ou por outros possíveis motivos.

Os resultados encontrados por Grossman e Krueger neste artigo de 1991 foram de que, para o SO₂, que foi derivado por equações cúbicas, tanto para o 50º quanto para o 95º percentil de observações diárias e para ambas as medidas, a concentração de SO₂ aumenta com o PIB *per capita* em níveis baixos de renda nacional, cai com o PIB *per capita* na faixa entre US\$

5.000 e US\$ 14.000 (dólares americanos de 1985) e depois estabiliza ou talvez comece a subir novamente. E o ponto de virada da curva do 50º percentil é de US\$ 4.119, enquanto a da observação do 95º percentil ocorre em US\$ 4.630. A principal conclusão encontrada por Grossman e Krueger (1991) relevante para esta monografia é de que, por meio de um exame das medidas de qualidade do ar em vários países, que o crescimento econômico tende a diminuir a emissão de poluição quando a renda *per capita* de um país atinge cerca de US\$ 4.000 a US\$ 5.000, a preços de 1985.

Após a publicação de Grossman e Krueger em 1991, Shafik (1994) fez uma pesquisa que estimou a CAK para dez indicadores diferentes usando três formas funcionais, e concluiu que a falta de água potável e a falta de saneamento urbano diminuíram com o aumento da renda ao longo do tempo, que não há relação entre renda e desmatamento e que a qualidade dos rios piora com o aumento da renda. Porém as concentrações locais de poluentes atmosféricos estavam de acordo com a hipótese da CAK com pontos de virada entre US\$ 3.000 e US\$ 4.000, mas os resíduos municipais e as emissões de dióxido de carbono *per capita* aumentaram monotonicamente com a renda *per capita*. As concentrações de muitos poluentes diminuíram nos países desenvolvidos ao longo do tempo com mais rigorosas regulamentações ambientais e inovações tecnológicas, porém a composição de poluição do ar mudou de poluição particulada de enxofre e óxidos de nitrogênio para dióxido de carbono. A atividade econômica, de um jeito ou de outro, é prejudicial ao meio ambiente, pois requer o uso dos fluxos de energia e materiais e um esforço para reduzir alguns impactos ambientais pode apenas agravar outros problemas (Stern 2015).

Uma crítica aos trabalhos de Grossman e Krueger (1991) e Shafik (1994) é de que suas abordagens não restringem a variável dependente a ser diferente de zero, já que as regressões que permitem que os níveis de impacto ambiental se tornem nulos ou negativos são impróprias, exceto no caso das taxas líquidas de recursos renováveis, que, por exemplo, pode ocorrer com o reflorestamento. A restrição para que a variável dependente seja diferente de zero pode ser aplicando o logaritmo dela, resultando na seguinte equação para dados em painel:

$$E_{it} = \alpha_i + \gamma_t + \beta_1 Y_{it} + \beta_2 Y_{it}^2 + \varepsilon_{it}, \quad (1)$$

em que E_{it} é o logaritmo natural da qualidade ambiental ou das emissões por pessoa, Y_{it} é o logaritmo natural do produto interno bruto *per capita* e o ε_{it} é um termo de erro aleatório. O “ i ” e “ t ” são indexadores dos países ou municípios e tempo, respectivamente.

Selden e Song (1994) estimaram CAKs para quatro tipos de gases: SO₂, NO_x, SPM e CO, e encontraram pontos de virada maiores que os anteriores, variando entre US\$ 7.114 e US\$ 12.275, dependendo do gás, demonstrando que os pontos de virada para as emissões provavelmente seriam maiores dependendo das concentrações ambientais. Isso ocorre pois nos estágios iniciais do desenvolvimento econômico, o desenvolvimento urbano e industrial tende a se concentrar em menos cidades, que também apresentam densidades populacionais crescentes, enquanto nos estágios posteriores do desenvolvimento o oposto ocorre. Portanto, mesmo que as emissões nacionais totais estejam aumentando é possível que as concentrações máximas de poluição ambiental caiam à medida que a renda aumenta.

Um dos problemas para estimar as CAKs é de que existem alguns problemas econométricos que afetam a interpretação dessas estimativas, sendo os principais o viés das variáveis omitidas, as variáveis integradas com o problema da regressão espúria e a identificação dos efeitos temporais. Os primeiros estudos usavam dados que se concentravam em países desenvolvidos, e estudos posteriores que usavam conjuntos de dados com maior variação de renda, encontraram pontos de virada cada vez mais altos (STERN, 2004). Harbaugh *et al.* (2002) descobriram que há uma diferença significativa nas estimativas dos parâmetros de regressão quando a equação é estimada usando o estimador de efeitos aleatórios e o estimador de efeitos fixos, indicando que os regressores estão correlacionados com os efeitos de país e de tempo, o que indica que os regressores provavelmente estão correlacionados com variáveis omitidas.

A curva ambiental de Kuznets, ainda foi muito estudada ao longo do tempo, com métodos econométricos cada vez mais rebuscados, como Wagner (2008) que observou que testes de cointegração de painel padrão não são apropriados quando há funções não lineares de variáveis de raiz unitária ou dependência transversal nos dados, então ele usou regressões defatoradas e os chamados testes de raiz unitária de painel de segunda geração para abordar essas duas questões. Já Vollebergh, Melenberg e Dijkgraaf (2009) apontou que tempo, renda ou outros efeitos não são identificados exclusivamente em modelos de forma reduzida como o CAK, e que os resultados de regressão CAK existentes dependem das suposições de identificação específicas que são impostas implicitamente.

No Brasil existem alguns estudos que tratam sobre a CAK e que fizeram estimações sobre ela para os municípios brasileiros. Um deles, Oliveira *et al.* (2011), trata sobre o desmatamento e crescimento econômico para a Amazônia Legal. Esse trabalho teve como objetivo descobrir se existe a relação da CAK para a Amazônia Legal, utilizando o desmatamento (área desmatada anual em km²) como indicador da degradação ambiental e o PIB *per capita* como indicador de crescimento econômico, e se estes dois se relacionam por um “U” invertido. Os dados coletados foram para todos os municípios mapeados pelo sistema Prodes (Inpe) entre 2001 e 2006, utilizando-se dados em painel com uma dependência espacial. As demais variáveis explicativas foram rebanho bovino, culturas agrícolas como soja e cana-de-açúcar, extração vegetal e silvicultura, densidade populacional, crédito rural e área de floresta preexistente. A análise empírica foi feita por um modelo global para o desmatamento na Amazônia e estimado por efeitos fixos. Os resultados encontrados do modelo-base foram que não há o comportamento de “U” invertido, e o melhor modelo ajustado é o de erro espacial com transbordamentos espaciais. Mas foi encontrado que a relação entre desmatamento e crescimento econômico é na forma de “N” invertido, portanto, o desmatamento decresce para menores níveis de PIB *per capita*, e cresce à medida que o PIB *per capita* se aumenta, voltando a diminuir para níveis mais elevados de PIB *per capita*.

O artigo de Sousa *et al.* (2008) fez uma análise “*cross-section* em painel” para 5507 municípios brasileiros nos anos de 1991 e 2000, verificando se a hipótese da CAK é verdadeira para as variáveis ligadas ao desenvolvimento sustentável e meio ambiente como que são taxa de mortalidade, expectativa de vida, alfabetização de adultos, abastecimento de água, saneamento básico, e coleta de lixo urbano. Os resultados obtidos nessa pesquisa foram de que as variáveis representativas do desenvolvimento sustentável apresentam uma relação com a renda *per capita* dos municípios que não se aproximou do comportamento de uma CAK, com a forma de “U-invertido”, mas sim no formato de “U”, com as variáveis apresentando um comportamento contrário, revelando que os déficits decrescem com a renda até um determinado nível, para depois aumentar, e para algumas variáveis tem um comportamento cíclico.

A dissertação de Fernandes (2021) faz uma análise robusta a partir de um estudo econométrico de análise de regressão com dados em painel, sendo estimados os modelos de efeitos fixos, aleatórios e *Pooled*, para os 26 estados brasileiros e o distrito federal, no período de 2002 a 2014, para verificar se houve o comportamento da CAK. Os dados de indicadores da

degradação ambiental e crescimento econômico utilizados foram o CO₂ e o PIB *per capita*, enquanto as variáveis explicativas são o consumo de energia elétrica e a densidade demográfica. A dissertação obteve resultados que sugerem que a forma de “U” invertido é constatada apenas no estágio inicial, enquanto para o período de 2002 a 2014 a CAK tem um formato similar ao de um “N”. Portanto as emissões de gases poluentes reduzirão a partir do momento em que a renda atingir o ponto de inflexão, mas apenas o aumento da renda *per capita* não é capaz de provocar a redução da emissão de gases poluentes e encontra-se atrelado ao compromisso dos estados com a redução da emissão de CO₂.

Por fim foi publicado um artigo (ALVES, 2021) que buscou desenvolver um estudo econométrico, utilizando o método de regressões quantílicas para dados em painel, para analisar os determinantes do desmatamento entre 2005 e 2016 nos 143 municípios do estado do Pará, que é um dos grandes responsáveis pelo desmatamento na Amazônia Brasileira. Neste artigo foi utilizado o desmatamento como variável de interesse e como variáveis explicativas foram usadas: PIB municipal *per capita*, e sua variante quadrática e cúbica, população municipal, efetivo bovino, área plantada municipal de lavouras permanentes e temporárias, indicadores de emprego e renda, educação e saúde (*proxies* de desenvolvimento socioeconômico), a área remanescente de floresta municipal, linear e quadrática, e uma variável *dummy* que atribui 0 ao período até 2009 e 1 a partir de 2009. Os resultados encontrados nessa pesquisa são de que os coeficientes das regressões quantílicas para os quantis de 50%, 75% e 99% são estatisticamente significantes, que o formato para a relação entre crescimento econômico e desmatamento é o “N” invertido, portanto, para 50%, 75% e 99% dos municípios mais desmatados, a perda da cobertura florestal é decrescente para baixos níveis de PIB *per capita*, para depois crescer à medida que o PIB *per capita* aumenta, tornando-se decrescente novamente para níveis mais elevados de PIB *per capita*.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.

Este trabalho busca analisar o comportamento do crescimento econômico e degradação ambiental, e identificar se existe ou não uma relação esperada de uma CAK, e caso exista, se é no formato clássico de “U” invertido, ou o mais recente encontrado na literatura que é um “N”. Para isso foi utilizada a emissão de CO₂ *per capita* dos municípios para medir o impacto ambiental e o PIB *per capita* para medir o crescimento econômico. Foram coletados dados de 5550 municípios brasileiros nos anos de 2005, 2010, 2015 e 2019. Além disso, também foram utilizadas algumas variáveis explicativas para a análise, sendo elas: distância para a capital estadual dos municípios, três variáveis que representam a participação da agropecuária, indústria e serviços no PIB, respectivamente, e *dummies* da região do Brasil, que será 1 quando o município faz parte da região Norte, Sudeste, Sul e Centro-Oeste e 0 nas demais.

Para a análise dos dados foi utilizado o estimador dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), que é um método que ajusta a reta que apresenta as menores distâncias quadráticas entre os valores observados com a reta formada pela média da distribuição, portanto os estimadores de MQO dos parâmetros β_0 e β_1 minimizarão o valor da função de erro quadrático total.

Também foi realizada uma análise utilizando regressão quantílica, esta que foi introduzida por Koenker e Bassett (1978), e é utilizada para estimar o efeito da variável explicativa em diferentes partes da distribuição, nos diversos quantis e não apenas a mediana ou a média (WOOLDRIDGE, 2009). Portanto são modelos nos quais os quantis da distribuição condicional das variáveis de resposta são expressos como funções de covariáveis observadas. (KOENKER; HALLOCK, 2001). No caso dessa monografia, a regressão quantílica foi utilizada pois é interessante analisar qual o comportamento da curva por quantil dos municípios brasileiros, já que, eventualmente, municípios que mais emitam tenham um formato diferente dos que menos emitem.

A análise utilizou dados em *cross-section* e foram realizadas regressões múltiplas para oito modelos diferentes, quatro deles modelos quadráticos e quatro cúbicos, utilizando o estimador MQO para cada ano coletado, totalizando 32 modelos e regressões realizadas. Além disso foram realizadas as regressões quantílicas para o melhor modelo estimado de cada ano

nos percentis de 15%, 30%, 45%, 60%, 75% e 90%. A seguir está a Tabela 1 que demonstra quais variáveis estão presentes em cada modelo.

Quadro 1 - Variáveis pertencentes aos modelos elaborados.

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6	Modelo 7	Modelo 8
Pibpc	X	X	X	X	X	X	X	X
Pibpc ²	X	X	X	X	X	X	X	X
Pibpc ³					X	X	X	X
Part. Agropecuária no PIB			X	X			X	X
Part. Indústria no PIB			X	X			X	X
Part. Serviços no PIB			X	X			X	X
Distância da Capital regional		X		X		X		X
Dummy Regiões do Brasil		X		X		X		X

Fonte: Elaborado pelo autor.

O dióxido de carbono equivalente (CO_2e) é definido como uma métrica que compara as emissões de vários gases de efeito estufa, se baseando no potencial de geração do aquecimento global que cada gás possui. O CO_2e é o resultado da multiplicação das toneladas emitidas de gases de efeito estufa pelo seu potencial de aquecimento global. Por exemplo, o potencial de aquecimento global do gás metano (CH_4) é 28 vezes maior do que o potencial do gás carbônico (CO_2), portanto é definido que o CO_2 equivalente do metano é igual a 28 Global Warming Potential (GWP).

O PIB é um indicador econômico que representa a soma de todos os bens e serviços finais produzidos por um país, estado ou município gerado em um período específico. O lado da oferta do PIB é constituído principalmente pelos setores agropecuário, industrial e de comércio e serviços, e cada um desses setores é calculado a partir do seu valor adicionado, que é o valor dos bens produzidos, depois de deduzidos os custos dos insumos adquiridos de terceiros, como as matérias-primas, serviços e bens intermediários, utilizados na produção, novamente no espaço geográfico e período desejado. Para as variáveis do PIB e valores adicionados dos setores que compõem o PIB, foram deflacionadas a preços de 2010, para obter os valores reais e poder realizar a comparação nos 4 anos diferentes.

Por fim, as variáveis do controle regional foram adicionadas como uma tentativa de medir o impacto espacial que os gases do efeito estufa produzem, já que, apesar de uma determinada área ser a que gerou os gases, o efeito desses gases na atmosfera se alastra pelo espaço que está presente, portanto, um controle regional é utilizado para tentar medir este efeito. Para isso, utilizou-se a distância da capital estadual, que é a distância, medida em quilômetros, em linha reta do centro geográfico de cada município para o centro geográfico da capital do

estado que este município pertence. As *dummies* das regiões do Brasil estão presentes por conta deste efeito espacial também, e são 4 *dummies* que representam as regiões Norte, Sudeste, Sul e Centro-Oeste, enquanto a região do Nordeste é representada pelo intercepto, que assumem valor de 0 ou 1.

Para se obter o formato clássico foram utilizados modelos quadráticos, enquanto para o formato de “N” foram utilizados modelos cúbicos, e para estimar este formato foi utilizado o estimador MQO e a regressão quantílica para a estimação do formato nos quantis especificados, para os 4 anos estudados. A seguir estão as formas resumidas dos modelos analisados neste trabalho:

$$\ln CO_2epc = \beta_0 + \beta_1 \ln PIBpc + \beta_2 (\ln PIBpc)^2 + u_i, \quad (2)$$

$$\ln CO_2epc = \beta_0 + \beta_1 \ln PIBpc + \beta_2 (\ln PIBpc)^2 + \beta_3 (\ln PIBpc)^3 + u_i, \quad (3)$$

sendo, $\ln CO_2epc$ o logaritmo natural do CO₂ equivalente *per capita*; $\ln PIBpc$ o logaritmo natural do PIB *per capita*; e u_t o termo do erro estocástico que, por suposição, deve ser iid - identicamente e independentemente distribuído, com $N \sim (0, \sigma^2)$. Também foi aplicado o logaritmo natural para as variáveis explicativas que não são *dummies*, ou seja, participação da agropecuária, indústria e serviços no PIB e a distância para capital estadual.

Para confirmar se os parâmetros obtidos nas regressões subsidiam ou não o comportamento de uma CAK, o primeiro passo é analisar os sinais e confirmar se estão de acordo com a literatura, tendo como sinais esperados positivo para β_1 , negativo para β_2 e, para os modelos cúbicos, para ter o formato de “N” o β_3 deve ser positivo.

Foi realizada uma análise de sensibilidade dos resultados das regressões para poder comparar os resultados obtidos entre os 8 modelos dos 4 anos. As informações contidas nesta análise são os coeficientes e erro padrões resultantes das regressões, tais quais o seu grau de confiabilidade, o R² e R² ajustado, a estatística de teste do multiplicador de Lagrange (LM) utilizado para o teste de autocorrelação dos resíduos, a probabilidade das estatísticas F e o valor do critério Bayesiano de Schwarz (BIC).

3.1 COLETA E TRATAMENTO DE DADOS

A variável utilizada para representar a degradação ambiental foi o dióxido de carbono equivalente, que representa a equivalência da emissão entre todos os gases com efeito estufa e o CO₂, sendo medido em GWP. Os dados da emissão deste gás foram obtidos a partir das estimativas realizadas pelo Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), que são geradas segundo as diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), com base na metodologia dos Inventários Brasileiros de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases do Efeito Estufa, elaborado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), e em dados obtidos junto a relatórios governamentais, institutos, centros de pesquisa, entidades setoriais e organizações não governamentais. A partir dos dados disponibilizados pelo SEEG foi filtrada a emissão para cada município nos anos desejados e transformados os dados em *per capita*.

Nos dados divulgados pelo SEEG constam a emissão, remoção e a emissão líquida (Emissão – Remoção) dos gases do efeito estufa. A remoção antrópica ocorre na natureza pela restauração de florestas, regeneração de pastos e outros como sumidouros de carbono, e aumentos de estoques de carbono em florestas naturais quando localizadas em unidades de conservação ou terras indígenas. Para essa pesquisa foi utilizado apenas as Emissões, pois os dados precisavam estar na forma logarítmica, assim não podendo ter emissões negativas.

Já a variável utilizada para representar o crescimento econômico foi o PIB *per capita* dos municípios. Foram utilizados os dados disponibilizados pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), que usam de fonte o Instituto brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Por conta de a análise ser feita em quatro anos diferentes, os dados estão deflacionados a preços de 2010 em reais (R\$).

As demais variáveis explicativas, tirando as *dummies*, foram obtidas pelo IPEA. Para o cálculo da participação da agropecuária, indústria e serviços no PIB, primeiro foi coletado o valor adicionado (R\$) da agropecuária, indústria e serviços do PIB municipal de cada ano, também deflacionados a preços de 2010, e calculado o percentual de participação de cada variável no valor total do PIB municipal. O IPEA também utiliza de fonte o IBGE para esses dados. Já a distância da capital estadual foi coletada e disponibilizada pelo próprio IPEA tendo sua unidade em quilômetros (Km), e o cálculo das distâncias foi baseado nas coordenadas geodésicas do cadastro de cidades e vilas do IBGE. As *dummies* foram definidas de modo que

quando um município faz parte do Norte, Sudeste, Sul e Centro-Oeste, ele vai assumir o valor de 1 para a região que faz parte e 0 para as demais.

Foi aplicado o logaritmo natural nas variáveis não binárias, pois realizar essa operação monotônica ajuda a amenizar os efeitos dos *outliers*, deixando os dados menos dispersos, como será demonstrado no gráfico de dispersão, e poder computar mais facilmente uma alteração nos valores, além de ser o mesmo tratamento realizado nos dados da literatura. Após aplicar o \ln nas variáveis é calculada a elevação ao quadrado e cúbica do logaritmo natural do PIB $_{pc}$, assim obtendo o PIB $_{pc}^2$ e PIB $_{pc}^3$.

Os dados foram coletados para os anos de 2005, 2010, 2015 e 2019 e, devido às mudanças ocorridas nas áreas e limites dos municípios, não é possível realizar comparações geograficamente consistentes da evolução temporal dos dados demográficos, econômicos e sociais. Portanto para possibilitar comparações consistentes no tempo é necessário agregar os municípios em áreas mínimas comparáveis, ou seja, no menor número de municípios necessário para que a área geográfica conjunta permaneça constante ao longo do período de análise. O IPEA utilizou o material compilado pelo IBGE para esse cálculo, como pode ser encontrado no site do IPEADATA, na página “Dicionário de Conceitos”, como disposto nas referências, e nele está disponibilizado como foram construídas as AMCs.

No IPEA ao baixar os dados das variáveis explicativas, existem 5596 municípios, porém devido à erros e ausência de dados, 35 municípios tiveram que ser retirados. Por possuírem valores negativos ou nulos no valor adicionado da agropecuária, os municípios Nilópolis (RJ), Águas de São Pedro (SP) e Taquaral (SP) foram retirados. Por conta de não apresentarem os valores no IPEA para o PIB $_{pc}$, valor adicionado da agropecuária, indústria e serviços e os dados da distância da capital estadual para todos os quatro anos, foram retirados 32 municípios, sendo eles: Trancoso (BA), Barcellos (BA), Olivença (BA), Villa Verde (BA) Cococi (CE), Entre Rios (CE), Mecejana (CE), Vertentes (CE), Riacho (ES), Ponte do Itabapoana (ES), Paraíso das Águas (MS), São Gonçalo (MT), Mojuí dos Campos (PA), Monsarás (PA), Vila Franca (PA), Muribeca (PE), Nossa Senhora do Ó de Goyanna (PE), Cimbres (PE), Nazária (PI), Assunguy de Cima (PR), Conchas (PR), Palmira (PR), Porto de Cima (PR), São João Marcos (RJ), São Sebastião do Parahyba (RJ), Pinto Bandeira (RS), Santa Cristina do Pinhal (RS), Santa Izabel (RS), Pescaria Brava (SC), Balneário Rincão (SC) São Miguel (SC) e Santo Amaro (SP). Por fim, mais 11 municípios foram retirados, por

apresentaram dados negativos das emissões brutas de CO₂*epc*, sendo eles: Lauro de Freitas (BA), Sabará (MG), Ceará-Mirim (RN), Minas do Leão (RS), Caieiras (SP), Guatapar (SP), Iperó (SP), Itaquaquecetuba (SP), Jambeiro (SP), Onda Verde (SP) e Santa Isabel (SP). Totalizaram-se, assim, 46 municípios retirados, remanescendo 5550 para a pesquisa.

Com a base de dados montada, foram feitas as regressões em Python, mais especificamente utilizando o Software Jupyter e a biblioteca Pandas. Para rodar as regressões  recomendável utilizar o Jupyter pois todas as bibliotecas utilizadas já estão incluídas nele, sem precisar realizar o download delas. No Apêndice B, encontra-se um link para um diretório do GitHub contendo os códigos utilizados e o banco de dados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, apresentam-se as principais análises e discussões dos resultados em relação às estatísticas descritivas, os resultados das regressões realizadas utilizando os mínimos quadrados ordinários para os anos de 2005, 2010, 2015 e 2019 e os resultados das regressões quantílicas, com o objetivo de verificar qual o formato das emissões de CO₂

4.1 ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS VARIÁVEIS.

Como apresentado na Tabela 1, é possível reparar que os valores das médias, medianas, desvios padrões, menores e maiores valores são consistentes nos 4 anos analisados, com apenas pequenas variações, mas seguindo o mesmo padrão

Tabela 1 - Estatísticas descritivas de algumas das variáveis não binárias para os anos de 2005, 2010, 2015 e 2019 de 5550 municípios brasileiros.

	Ano	CO ₂ epc	Pibpc	Part. Agropecuária no PIB	Part. Indústria no PIB	Part. Serviços no PIB	Distância da Capital estadual
Média	2005	35,79	8,44	0,329	0,162	0,414	254,06
	2010	18,86	9,95	0,305	0,180	0,424	
	2015	21,04	10,59	0,278	0,168	0,462	
	2019	19,43	10,97	0,256	0,163	0,481	
Desvio Padrão	2005	177,97	12,81	0,198	0,150	0,136	163,99
	2010	37,04	14,47	0,197	0,147	0,138	
	2015	45,38	13,47	0,196	0,138	0,146	
	2019	52,15	14,25	0,189	0,138	0,149	
Valor mínimo	2005	0,19	0,31	6,28E-07	0,009	0,016	3,62
	2010	0,43	0,50	9,46E-07	0,010	0,011	
	2015	0,61	0,77	2,00E-06	0,010	0,019	
	2019	0,54	0,81	9,85E-07	0,014	0,022	
Mediana	2005	8,29	5,41	0,332	0,099	0,411	228,01
	2010	8,49	6,46	0,288	0,117	0,421	
	2015	8,40	7,14	0,251	0,113	0,468	
	2019	7,63	7,29	0,220	0,111	0,490	
Valor Máximo	2005	5.849,67	279,46	0,906	0,966	0,869	1.476,28
	2010	699,86	305,87	0,894	0,970	0,867	
	2015	901,60	345,95	0,928	0,903	0,885	
	2019	1.831,38	257,43	0,891	0,947	0,899	

Fonte: Elaborado pelo autor utilizando dados do IPEA, IBGE e SEEG.

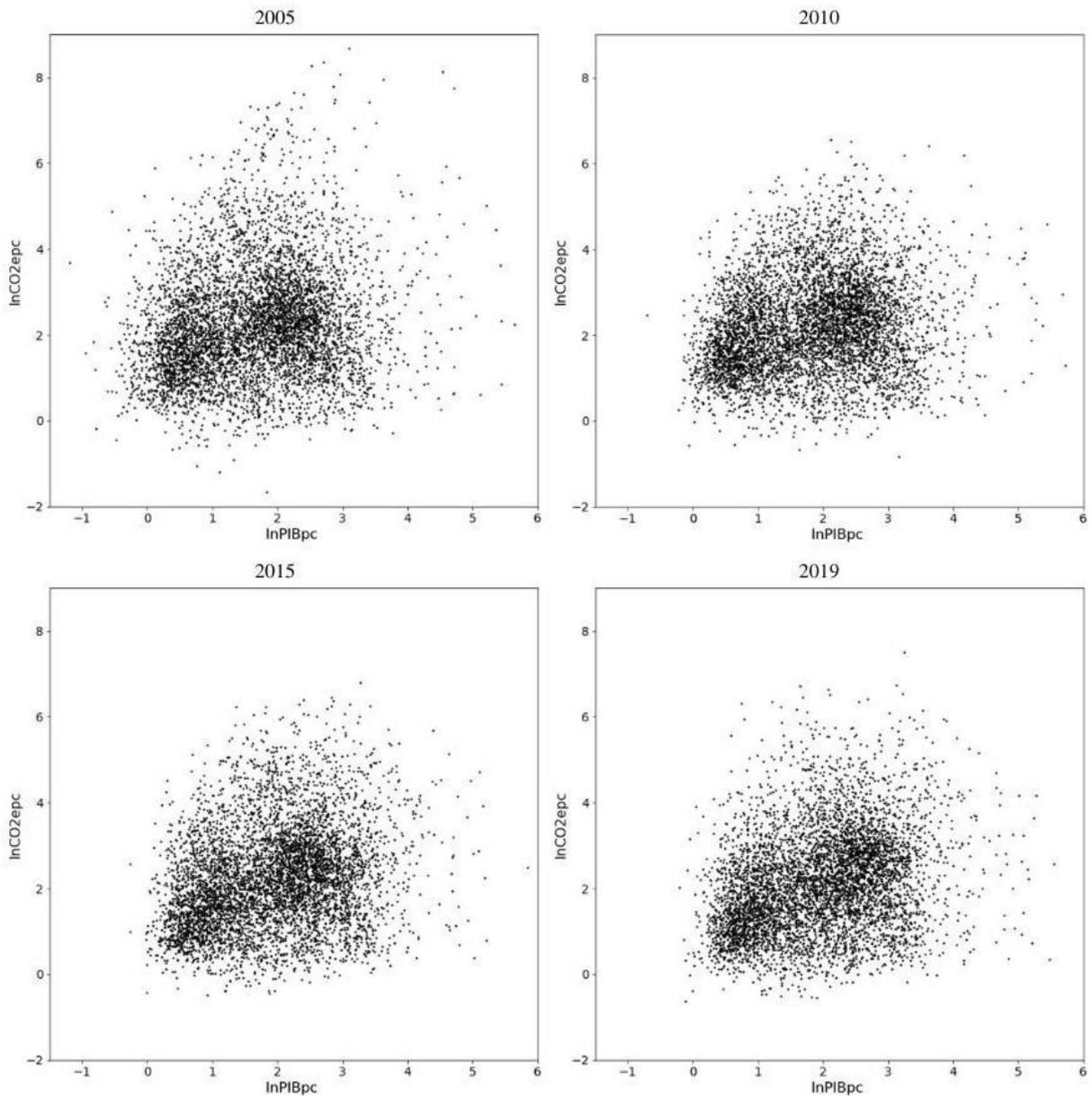
Possuindo os valores de máximos e mínimos das emissões de CO₂epc nesses 4 anos, é possível perceber algumas das características dos municípios que mais e menos emitem. O valor máximo, e dos 5 municípios que mais emitem o CO₂e per capita em 2005 possuem valores maiores quando comparados com os demais anos, e ao mesmo tempo o oposto também vale, com os 5 municípios que menos emitem de 2005 possuindo valores menores que os demais anos, ou seja, após 2005 a faixa de poluição diminuiu com os municípios que mais poluíam

diminuindo os seus valores *per capita*, enquanto os que menos poluíam aumentando seu valor *per capita*.

Analisando os 5 municípios que mais poluem, com emissões *per capita*, em cada ano, como pode ser visto na tabela no Apêndice A, municípios do Mato Grosso aparecem 14 vezes, enquanto municípios do Pará (PA) aparecem 5 vezes e Rondônia possui um município em 2010 que faz parte dos maiores emissores de CO_2e *per capita*. Vale destacar também alguns municípios que aparecem em mais de um ano nos 5 maiores emissores de CO_2epc brasileiros, sendo eles, Santa Cruz do Xingu (MT), nos anos de 2005, 2010 e 2019; Cumaru do Norte (PA) em 2005 e 2010; Ipiranga do Norte (MT) em 2005 e 2010; Gaúcha do Norte (MT) em 2010 e 2015 e União do Sul (MT) em 2015 e 2019. Outra questão é que nos 4 anos analisados, 18 dos municípios que fazem parte dos 5 maiores poluidores *per capita*, tem o seu maior valor adicionado no setor da agropecuária, enquanto apenas Itaúba (MT) e Jacareacanga (PA) em 2015 e 2019, respectivamente, possuem o setor com maior valor adicionado sendo serviços, ou seja, nesses 4 anos, os municípios agropecuários estão em grande quantidade entre os principais emissores *per capita*.

Na Figura 1 são representadas as dispersões entre o $lnCO_2epc$ e o $lnPIBpc$ para os anos de 2005, 2010, 2015 e 2019. É interessante notar que, de acordo com as estatísticas descritivas, a média dos valores das variáveis se mantem consistente ao longo dos anos e muito próximos uns dos outros, podendo-se dizer o mesmo dos valores mínimos e máximos e da mediana. Esse comportamento pode ser visto na semelhança da dispersão dos pontos nos 4 anos, que estão, de maneira geral, concentrados na mesma faixa de valores.

Figura 1 - Comparação das dispersões entre o $\ln CO_2epc$ e $\ln PIBpc$ de 5550 municípios brasileiros nos anos de 2005, 2010, 2015 e 2019.



Fonte: Elaborado pelo autor utilizando dados do IPEA, IBGE e SEEG.

Outro ponto interessante é de que, por conta da aplicação do logaritmo natural nas duas variáveis, pode ser visto que nos gráficos dos 4 anos da Figuras 1, não há a presença de muitos outliers, quando considerado o número total de municípios. Comparando as dispersões nesses 4 anos também é possível afirmar que elas ficaram relativamente estáveis nesse período.

4.2 RESULTADOS OBTIDOS

A fim de comparação e para encontrar o modelo que melhor representa o relacionamento entre o crescimento econômico e degradação ambiental, foram realizadas regressões com os dados em *cross-section* para oito modelos nos anos de 2005, 2010, 2015 e 2019. Os primeiros quatro modelos testam a hipótese de o comportamento ser em formato de “U” invertido e os quatro últimos testam se é no de “N”.

Em cada ano foi feita uma análise de sensibilidade para representar os resultados das regressões, que estão nas Tabelas 2, 3, 4 e 5 para os anos de 2005, 2010, 2015 e 2019, respectivamente. Nessa análise, estão presentes algumas informações, como os coeficientes e erros padrões obtidos das regressões, juntamente do grau de significância de cada variável presente no respectivo modelo. Nas tabelas também estão presentes informações adicionais, como os valores do R^2 e R^2 ajustado, a probabilidade da estatística F, uma estatística de teste LM para a autocorrelação dos resíduos e o valor do critério BIC.

É importante ressaltar que, em todos para os 32 modelos analisados, foi constatada a presença de autocorrelação dos resíduos entre as variáveis, sendo representado pelo teste LM na análise de sensibilidade. A existência da autocorrelação, para os dados em *cross-section*, pode indicar a presença de feitos espaciais não modelados. Foi considerado que também há a presença de heteroscedasticidade e, para corrigir a matriz de variância e covariância e permitir a inferência para a regressão por MQO, foi utilizado o método de erros padrão robustos de Huber-White, que resultaram num modelo mais robusto, preciso e com o valor dos erros padrões corrigidos.

A partir de todas as informações presentes da análise de sensibilidade, juntamente com a verificação dos sinais das variáveis explicativas, foi escolhido o melhor modelo de cada ano para que sejam comparados e verificar quais variáveis e formato de curva melhor se comportam como uma CAK.

Tabela 2 - Resultado das regressões com o coeficiente, erro padrão e grau de significância das variáveis de cada modelo, para o ano de 2005.

2005	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6	Modelo 7	Modelo 8
Constante	1,664 (0,043)***	-1,521 (0,096)***	0,578 (0,126)***	-1,358 (0,138)***	1,572 (0,051)***	-1,635 (0,098)***	0,551 (0,128)***	-1,391 (0,138)***
Pibpc	0,614 (0,058)***	0,346 (0,056)***	0,614 (0,049)***	0,343 (0,051)***	0,926 (0,108)***	0,698 (0,09)***	0,788 (0,097)***	0,506 (0,084)***
Pibpc ²	-0,113 (0,018)***	-0,053 (0,014)***	-0,050 (0,015)***	-0,020 (0,013)	-0,311 (0,063)***	-0,286 (0,049)***	-0,161 (0,055)***	-0,128 (0,046)***
Pibpc ³					0,033 (0,01)***	0,039 (0,008)***	0,018 (0,009)**	0,018 (0,008)**
Part. Agropecuária no PIB			0,360 (0,015)***	0,223 (0,015)***			0,363 (0,015)***	0,224 (0,015)***
Part. Indústria no PIB			-0,302 (0,03)***	-0,253 (0,023)***			-0,297 (0,03)***	-0,247 (0,022)***
Part. Serviços no PIB			-0,804 (0,061)***	-0,682 (0,048)***			-0,793 (0,061)***	-0,674 (0,048)***
Distância da Capital estadual		0,558 (0,017)***		0,338 (0,017)***		0,560 (0,017)***		0,340 (0,017)***
Dummy Sudeste		0,139 (0,042)***		0,386 (0,036)***		0,149 (0,041)***		0,389 (0,036)***
Dummy Norte		2,104 (0,071)***		2,013 (0,066)***		2,104 (0,07)***		2,013 (0,065)***
Dummy Sul		0,338 (0,049)***		0,281 (0,043)***		0,381 (0,049)***		0,302 (0,043)***
Dummy Centro-Oeste		2,171 (0,076)***		1,958 (0,066)***		2,187 (0,076)***		1,967 (0,066)***
R ²	0,04	0,52	0,35	0,65	0,04	0,53	0,35	0,65
R ² -Adjusted	0,04	0,52	0,35	0,65	0,04	0,53	0,35	0,65
Estatística de teste: LM	118,21	633,32	622,86	1.003,67	106,49	606,41	650,51	1.019,58
F-statistic	115,30	514,10	477,80	709,30	77,60	468,30	409,10	584,90
Prob (F-statistic)	8,66E-50	0,00	0,00	0,00	3,60E-49	0,00	0,00	0,00
BIC	18.389	14.545	16.257	12.832	18.383	14.512	16.259	12.829

Fonte: Elaboração do autor a partir dos resultados da pesquisa.

Nota: * significativo a 10%; ** significativo a 5%; *** significativo a 1%; sem a presença de * é não significativo.

Na Tabela 2 podemos reparar que, em todos os modelos, os sinais do β_1 , β_2 e quando se tem o β_3 , são os esperados da literatura, sendo eles positivo, negativo e positivo, respectivamente. Nota-se também que de maneira geral todos os coeficientes possuem significância estatística a 1%, tirando o modelo 4, no qual o β_2 não possui significância. Isso demonstra que, para 2005 todas as variáveis explicativas escolhidas, com as participações no PIB dos setores da economia e as variáveis para o controle regional ajudam a explicar a emissão de CO_2epc e todos os modelos também possuem a mesma probabilidade da estatística F, sendo ela zero. Outro ponto importante, que volta a se repetir nos outros anos, é de que o valor do R² e do R² ajustado são quase iguais em todos os anos analisados, o que significa que as variáveis estão corretamente explicando a emissão de CO_2epc . É interessante reparar que os valores do R² ajustado para os modelos quadráticos e cúbicos (modelos 1 e 5), quando apenas tendo os

PIBs *per capita* como variáveis explicativas, são muito menores e próximos do zero, quando comparados aos modelos que possuem o controle regional e/ou a participação dos setores do PIB.

A partir das informações resultantes da regressão, o modelo que foi escolhido que melhor representa o comportamento de uma CAK para 2005 foi o modelo 8, que é um modelo cúbico, com as variáveis de controle regional e participação dos setores no PIB. Além dos critérios já mencionados de significância estatística e sinais esperados, outros resultados que justificam essa escolha são o maior valor de R^2 ajustado entre os modelos analisados em 2005 e o menor valor de BIC. Na Figura 2 abaixo é representado o melhor formato de curva de cada ano, que é o modelo 8 no caso de 2005. Podemos reparar que o formato da curva, apesar de não ser um “N” com a emissão diminuindo após chegar no ponto de virada, demonstra uma desaceleração no crescimento e depois retorna a crescer com mais intensidade.

A Tabela 3 abaixo demonstra os resultados das regressões para o ano de 2010, e os resultados se assemelham bastante com os de 2005, com apenas um modelo quadrático, que é o modelo 4, possuindo uma variável, o β_2 , sem significância estatística. Esse mesmo coeficiente, pela primeira vez, apresenta um sinal diferente dos esperados da literatura, sendo positivo. A partir dos mesmos critérios utilizados para o ano de 2005 o melhor modelo escolhido foi o modelo cúbico, com as variáveis de controle regional e participação dos setores no PIB, ou seja, o modelo 8.

Tabela 3 - Resultado das regressões com o coeficiente, erro padrão e grau de significância das variáveis de cada modelo, para o ano de 2010.

2010	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6	Modelo 7	Modelo 8
Constante	1,462 (0,043)***	-0,893 (0,094)***	0,791 (0,1)***	-0,416 (0,128)***	1,215 (0,057)***	-1,135 (0,098)***	0,680 (0,105)***	-0,496 (0,131)***
Pibpc	0,736 (0,055)***	0,281 (0,054)***	0,497 (0,045)***	0,186 (0,05)***	1,310 (0,114)***	0,832 (0,098)***	0,840 (0,095)***	0,413 (0,091)***
Pibpc ²	-0,135 (0,015)***	-0,046 (0,013)***	-0,035 (0,013)***	0,006 (0,012)	-0,447 (0,059)***	-0,349 (0,049)***	-0,221 (0,051)***	-0,119 (0,048)**
Pibpc ³					0,046 (0,009)***	0,045 (0,008)***	0,028 (0,008)***	0,019 (0,008)**
Part. Agropecuária no PIB			0,320 (0,013)***	0,222 (0,014)***			0,324 (0,013)***	0,223 (0,014)***
Part. Indústria no PIB			-0,259 (0,026)***	-0,207 (0,022)***			-0,251 (0,026)***	-0,201 (0,021)***
Part. Serviços no PIB			-0,762 (0,052)***	-0,644 (0,046)***			-0,743 (0,053)***	-0,633 (0,047)***
Distância da Capital estadual		0,446 (0,015)***		0,235 (0,015)***		0,448 (0,015)***		0,236 (0,015)***
Dummy Sudeste		0,209 (0,038)***		0,362 (0,033)***		0,204 (0,038)***		0,358 (0,033)***
Dummy Norte		1,597 (0,061)***		1,346 (0,055)***		1,577 (0,06)***		1,341 (0,055)***
Dummy Sul		0,511 (0,046)***		0,301 (0,042)***		0,544 (0,046)***		0,316 (0,042)***
Dummy Centro-Oeste		1,798 (0,06)***		1,525 (0,054)***		1,805 (0,06)***		1,530 (0,054)***
R ²	0,06	0,46	0,41	0,61	0,06	0,46	0,42	0,61
R ² -Adjusted	0,06	0,46	0,41	0,61	0,06	0,46	0,42	0,61
Teste de Auto correlação	110,09	250,17	474,25	619,63	113,03	232,67	575,02	666,20
F-statistic	184,80	514,50	663,70	655,20	145,30	463,40	551,90	588,70
Prob (F-statistic)	2,09E-78	0,00	0,00	0,00	1,15E-90	0,00	0,00	0,00
BIC	16.489	13.461	13.873	11.619	16.465	13.416	13.863	11.615

Fonte: Elaboração do autor a partir dos resultados da pesquisa.

Nota: * significativo a 10%; ** significativo a 5%; *** significativo a 1%; sem a presença de * é não significativo.

Podemos ver na Figura 2 a representação da curva do melhor modelo escolhido para 2010, podendo-se perceber características similares em relação curva de 2005, com a curva do modelo cúbico com a emissão diminuindo após chegar no ponto de virada, e depois retornando a crescer com mais intensamente.

Os resultados obtidos para o ano de 2015, como podem ser vistos na Tabela 4, se diferenciam um pouco em relação ao que ocorreu em 2005 e 2010. Neste caso os modelos 3 e 7, apesar de ainda significantes, passam a apresentar os coeficientes β_2 e β_3 com 5% ou até mesmo 10% de significância apenas. Mas o destaque fica para o modelo 8, que agora, assim como o modelo 4 novamente, não possui significância para os coeficientes do β_2 e β_3 , ou seja, o modelo que, a partir dos critérios, melhor representava o comportamento de uma CAK, agora

não pode ser utilizado, já que não tem como rejeitar a hipótese de eles serem iguais a zero estatisticamente.

Neste caso, o modelo 6, que também é um modelo cúbico, mas apenas com as variáveis de controle regional, sem a presença da participação dos setores no PIB, passa a ser o melhor modelo para o ano de 2015, apesar de ele possuir um BIC maior e um R² ajustado menor em relação ao modelo 8.

Tabela 4 - Resultado das regressões com o coeficiente, erro padrão e grau de significância das variáveis de cada modelo, para o ano de 2015.

2015	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6	Modelo 7	Modelo 8
Constante	1,231 (0,054)***	-1,236 (0,096)***	0,689 (0,111)***	-0,579 (0,135)***	1,027 (0,077)***	-1,477 (0,104)***	0,601 (0,117)***	-0,621 (0,138)***
Pibpc	0,812 (0,061)***	0,303 (0,056)***	0,524 (0,049)***	0,201 (0,05)***	1,234 (0,142)***	0,800 (0,116)***	0,740 (0,113)***	0,296 (0,104)***
Pibpc ²	-0,124 (0,016)***	-0,036 (0,013)***	-0,030 (0,013)**	0,011 (0,012)	-0,344 (0,071)***	-0,301 (0,06)***	-0,142 (0,058)**	-0,040 (0,055)
Pibpc ³					0,033 (0,011)***	0,039 (0,009)***	0,017 (0,009)*	0,008 (0,009)
Part. Agropecuária no PIB			0,327 (0,014)***	0,228 (0,014)***			0,329 (0,014)***	0,229 (0,014)***
Part. Indústria no PIB			-0,257 (0,027)***	-0,165 (0,022)***			-0,254 (0,027)***	-0,163 (0,022)***
Part. Serviços no PIB			-0,865 (0,059)***	-0,657 (0,052)***			-0,857 (0,06)***	-0,655 (0,053)***
Distância da Capital estadual		0,475 (0,015)***		0,272 (0,015)***		0,476 (0,015)***		0,273 (0,015)***
Dummy Sudeste		0,318 (0,037)***		0,448 (0,032)***		0,316 (0,037)***		0,447 (0,032)***
Dummy Norte		1,941 (0,062)***		1,529 (0,056)***		1,931 (0,062)***		1,529 (0,056)***
Dummy Sul		0,584 (0,046)***		0,305 (0,042)***		0,620 (0,047)***		0,313 (0,043)***
Dummy Centro-Oeste		1,946 (0,061)***		1,556 (0,056)***		1,961 (0,062)***		1,560 (0,057)***
R ²	0,08	0,51	0,45	0,65	0,08	0,52	0,45	0,65
R ² -Adjusted	0,08	0,51	0,45	0,65	0,08	0,51	0,45	0,65
Teste de Auto correlação	80,93	396,37	703,22	975,20	88,99	400,98	745,68	988,51
F-statistic	232,90	625,20	761,50	720,50	167,50	547,80	641,00	653,40
Prob (F-statistic)	7,67E-98	0,00	0,00	0,00	5,81E-104	0,00	0,00	0,00
BIC	17.038	13.531	14.194	11.720	17.037	13.512	14.198	11.727

Fonte: Elaboração do autor a partir dos resultados da pesquisa.

Nota: * significativo a 10%; ** significativo a 5%; *** significativo a 1%; sem a presença de * é não significativo.

Apesar do modelo 6 ser o que melhor representa o comportamento de uma CAK para o ano de 2015, a remoção da participação dos setores do PIB, não alterou o formato da curva em relação ao encontrado em 2005 e 2010, como pode ser visto na Figura 2. A diferença que é

importante destacar é que após o suposto ponto de virada, a curva fica mais horizontal até retomar o seu crescimento.

Tabela 5 - Resultado das regressões com o coeficiente, erro padrão e grau de significância das variáveis de cada modelo, para o ano de 2019.

2019	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6	Modelo 7	Modelo 8
Constante	1,051 (0,054)***	-1,301 (0,097)***	0,789 (0,112)***	-0,606 (0,135)***	1,001 (0,083)***	-1,484 (0,112)***	0,694 (0,123)***	-0,674 (0,145)***
Pibpc	0,817 (0,06)***	0,291 (0,055)***	0,575 (0,049)***	0,163 (0,051)***	0,918 (0,147)***	0,652 (0,126)***	0,797 (0,119)***	0,310 (0,113)***
Pibpc ²	-0,113 (0,015)***	-0,032 (0,012)***	-0,036 (0,013)***	0,012 (0,012)	-0,164 (0,072)**	-0,220 (0,062)***	-0,148 (0,057)***	-0,065 (0,056)
Pibpc ³					0,007 (0,010)	0,027 (0,009)***	0,016 (0,008)**	0,011 (0,008)
Part. Agropecuária no PIB			0,339 (0,014)***	0,218 (0,014)***			0,341 (0,014)***	0,219 (0,014)***
Part. Indústria no PIB			-0,218 (0,026)***	-0,166 (0,021)***			-0,215 (0,026)***	-0,164 (0,021)***
Part. Serviços no PIB			-0,704 (0,063)***	-0,598 (0,052)***			-0,697 (0,063)***	-0,594 (0,052)***
Distância da Capital estadual		0,458 (0,015)***		0,264 (0,015)***		0,459 (0,015)***		0,265 (0,015)***
Dummy Sudeste		0,377 (0,034)***		0,568 (0,031)***		0,376 (0,034)***		0,567 (0,031)***
Dummy Norte		1,866 (0,064)***		1,546 (0,061)***		1,860 (0,064)***		1,545 (0,061)***
Dummy Sul		0,742 (0,044)***		0,539 (0,041)***		0,769 (0,044)***		0,550 (0,041)***
Dummy Centro-Oeste		2,004 (0,061)***		1,688 (0,057)***		2,015 (0,061)***		1,693 (0,057)
R ²	0,09	0,52	0,43	0,64	0,09	0,52	0,43	0,64
R ² -Adjusted	0,09	0,51	0,43	0,64	0,09	0,52	0,43	0,64
Teste de Auto correlação	73,68	410,17	790,24	861,58	80,95	417,90	835,65	871,73
F-statistic	285,00	616,70	697,20	751,90	192,4	535,6	579,0	681,8
Prob (F-statistic)	1,47E-118	0,00	0,00	0,00	1,12E-118	0,00	0,00	0,00
BIC	16,886	13,462	14,326	11,852	16,894	13,457	14,330	11,857

Fonte: Elaboração do autor a partir dos resultados da pesquisa.

Nota: * significativo a 10%; ** significativo a 5%; *** significativo a 1%; sem a presença de * é não significativo.

Para finalizar os modelos feitos utilizando o MQO, temos na Tabela 5 os resultados para o ano de 2019. De forma geral, os resultados são bastante parecidos com os encontrados em 2015, porém duas coisas interessantes ocorreram. Pela primeira vez, um coeficiente de uma variável explicativa, que não é um dos PIBs *per capita*, não tem significância estatística, sendo ele o coeficiente da *dummy* que representa os municípios do Centro-Oeste. O segundo ponto importante é que é a primeira ocorrência de um dos modelos base, apenas com o PIB *per capita* para explica a emissão de gases poluentes, não possui um coeficiente, no caso o β_3 , sem significância estatística. O melhor modelo escolhido para o ano de 2019 foi o modelo cúbico com apenas a variáveis de controle regional (modelo 6), assim como para o ano de 2015.

4.3 COMPARAÇÃO DOS MELHORES MODELOS DE CADA ANO

Para poder comparar as características dos melhores modelos de cada ano, eles foram compilados em uma única tabela, como pode ser visto na Tabela 6 abaixo.

Tabela 6 - Resultados dos melhores modelos escolhidos para os anos de 2005, 2010, 2015 e 2019.

	2005	2010	2015	2019
Constante	-1,391 (0,138)***	-0,496 (0,131)***	-1,477 (0,104)***	-1,484 (0,112)***
Pibpc	0,506 (0,084)***	0,413 (0,091)***	0,800 (0,116)***	0,652 (0,126)***
Pibpc ²	-0,128 (0,046)***	-0,119 (0,048)**	-0,301 (0,06)***	-0,220 (0,062)***
Pibpc ³	0,018 (0,008)**	0,019 (0,008)**	0,039 (0,009)***	0,027 (0,009)***
Part. Agropecuária no PIB	0,224 (0,015)***	0,223 (0,014)***		
Part. Indústria no PIB	-0,247 (0,022)***	-0,201 (0,021)***		
Part. Serviços no PIB	-0,674 (0,048)***	-0,633 (0,047)***		
Distância da Capital estadual	0,340 (0,017)***	0,236 (0,015)***	0,476 (0,015)***	0,459 (0,015)***
Dummy Sudeste	0,389 (0,036)***	0,358 (0,033)***	0,316 (0,037)***	0,376 (0,034)***
Dummy Norte	2,013 (0,065)***	1,341 (0,055)***	1,931 (0,062)***	1,860 (0,064)***
Dummy Sul	0,302 (0,043)***	0,316 (0,042)***	0,620 (0,047)***	0,769 (0,044)***
Dummy Centro-Oeste	1,967 (0,066)***	1,530 (0,054)***	1,961 (0,062)***	2,015 (0,061)***
R ²	0,65	0,61	0,52	0,52
R ² -Adjusted	0,65	0,61	0,51	0,52
Estatística de teste: LM	1.019,58	666,20	400,98	417,90
F-statistic	584,90	588,70	547,80	535,6
Prob (F-statistic)	0,00	0,00	0,00	0,00
BIC	12.829	11.615	13.512	13.457

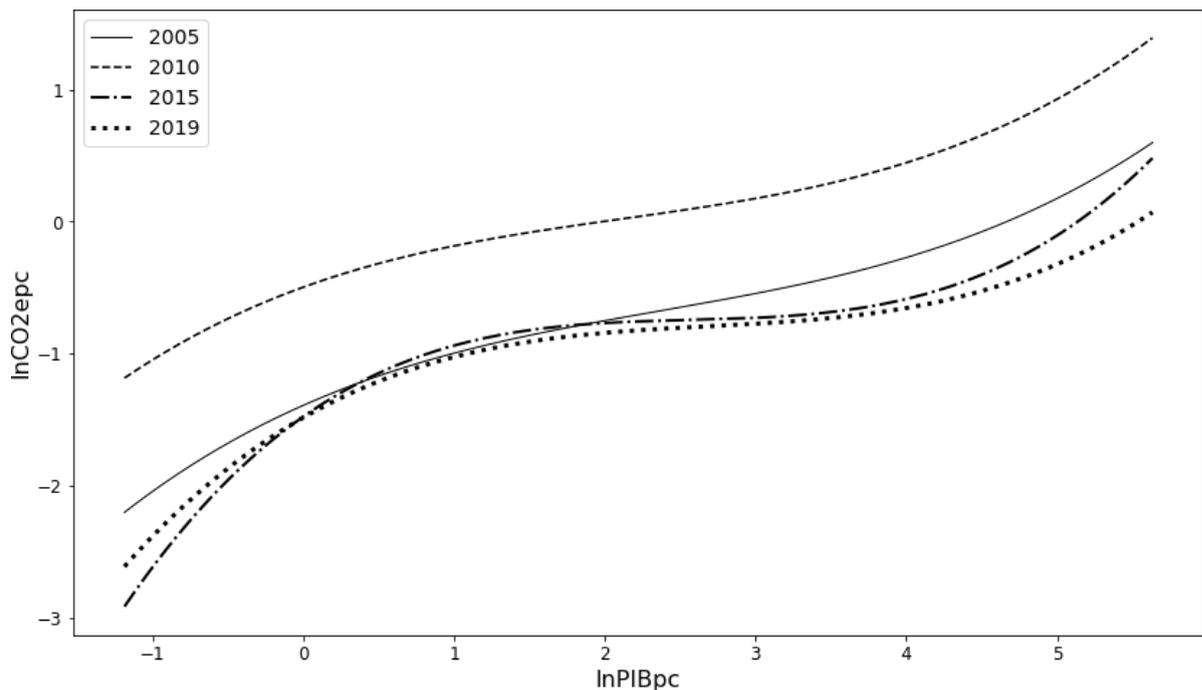
Fonte: Elaboração do autor a partir dos resultados da pesquisa.

Nota: * significativo a 10%; ** significativo a 5%; *** significativo a 1%; sem a presença de * é não significativo.

Como já explicado na subseção anterior, os modelos que apresentaram os melhores critérios definidos foram os escolhidos para representar o melhor modelo de cada ano. É interessante observar a consistência nos resultados obtidos, com as variáveis possuindo os mesmos sinais enquanto possuem coeficientes com significância estatística de 1%. Outro fator é que, em todos os anos, o modelo cúbico foi o que melhor representou o comportamento de uma CAK, como pode ser visto na Figura 2 abaixo, que compara o formato da curva em todos os anos.

Apesar dos modelos de 2015 e 2019 não apresentarem as participações dos setores no PIB, os valores dos coeficientes e erros padrões são muito próximos. Uma diferença interessante é que os modelos de 2005 e 2010 possuem o valor de seus R^2 ajustado maiores, mostrando que o formato cúbico é o que melhor se ajusta, e que os valores dos seus coeficientes fazem ocorrer uma menor desaceleração do crescimento da degradação ambiental nesses anos, quando comparados aos de 2015 e 2019, como evidencia a Figura 2.

Figura 2 - Ajustamento das curvas dos melhores modelos de 2005, 2010, 2015 e 2019 entre o $\ln CO_2epc$ e $\ln PIBpc$.



Fonte: Elaboração do autor a partir dos resultados da pesquisa.

Portanto, dos dois formatos encontrados na literatura, esta monografia traz evidências empíricas que os municípios brasileiros têm a tendência de possuir um formato cúbico, mas não ocorrendo em nenhum momento a diminuição da emissão, mas sim, uma desaceleração na emissão a certos níveis de PIB *per capita*, e que voltam a crescer ao elevar ainda mais o PIB *per capita*. Também trazemos evidências empíricas de que o formato de “U” invertido não é o ideal para representar o comportamento de uma CAK, quando comparado ao cúbico.

Os resultados obtidos nessa monografia se destoam de alguns e conversam com outro encontrado na literatura brasileira. A dissertação de Fernandes (2021) fez uma análise com dados em painel, entre 2002 e 2014, para os 26 estados brasileiros. Ela utilizou o CO₂ como variável dependente e o PIB_{pc} como variável explicativa. Os resultados do modelo MQO desta monografia reforçam os resultados encontrados por ela, no qual as emissões de gases poluentes reduzirão a partir do momento em que a renda atingir o ponto de virada, mas conforme continua aumentando a renda *per capita* a emissão destes gases volta a subir, assumindo uma forma cúbica, com formato de “N”. A comparação desses dois trabalhos é interessante, pois os dados da coleta de CO₂ são da mesma fonte (SEEG) e, apesar da utilização diferente no corte, um em *cross-section* e outro em painel, e de que o nível geográfico de ambas serem diferentes (municipal e estadual), ambas as pesquisas foram realizadas para todo o Brasil, utilizaram um modelo cúbico, e encontraram um formato de “N”, assim dando mais argumentos de qual é a relação entre degradação ambiental e crescimento econômico.

Já o artigo de Sousa *et al.* (2008), que realizou uma pesquisa com dados em *cross-section* para 5507 municípios brasileiros nos anos de 1991 e 2000 utilizando o estimador MQO, obteve resultados de que não existe o comportamento de “U” invertido, mas sim de “U”, ou seja, os déficits decrescem com a renda até um determinado nível, para depois aumentar. Esse resultado vai de encontro ao dos dessa monografia, mas não necessariamente a invalida. Apesar de ter uma metodologia semelhante, com dados em *cross-section*, utilizando o MQO e com quase todos os municípios brasileiros, um ponto crítico que é diferente é de que foi realizado um estudo com as variáveis de desenvolvimento sustentável como dependentes. Por conta disso, os sinais dos coeficientes da renda *per capita* foram diferentes em relação a esta monografia, sendo eles positivos.

No trabalho de Oliveira *et al.* (2011), no qual foi feito um estudo sobre a CAK para a Amazônia Legal, utilizando o desmatamento como variável que representa a degradação

ambiental, e o PIB *per capita* como principal variável explicativa, a partir de dados em painel e com dependência espacial entre 2001 e 2006, os resultados encontrados subsidiam que a relação entre o desmatamento e crescimento econômico é na forma de “N” invertido, e não de “U” invertido ou do cúbico que foi o encontrado nesta monografia. O que foi encontrado para a Amazônia Legal é de que o desmatamento decresce para menores níveis de PIB *per capita*, e cresce à medida que o PIB *per capita* aumenta, voltando a diminuir para níveis mais elevados de PIB *per capita*. Um ponto interessante para esse resultado é a utilização do desmatamento como variável que representa a degradação ambiental, e na próxima subseção, na qual realizamos regressões quantílicas, compararemos o resultado com outro artigo que utiliza o desmatamento, e nela discutiremos a diferença de resultados.

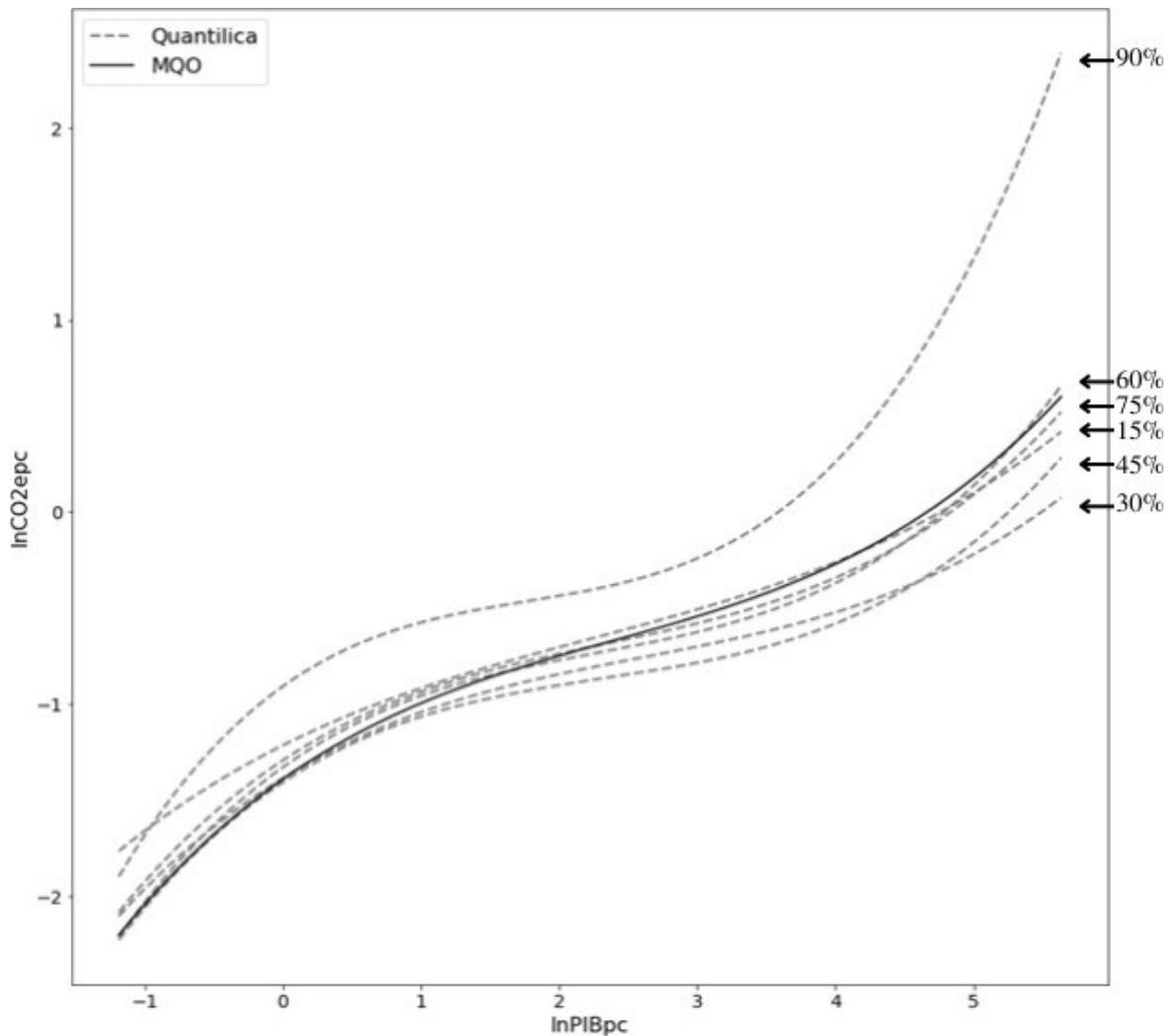
4.4 REGRESSÃO QUANTÍLICA

Realizamos quatro regressões quantílicas no melhor modelo escolhido de cada ano, para entender como é o comportamento das CAKs conforme vai aumentando os percentis da amostra, nos valores de 15%, 30%, 45%, 60%, 75% e 90%. As tabelas dos resultados com o valor e sinal do coeficiente, o valor do erro padrão, o nível de significância e uma comparação com os resultados obtidos pelo MQO encontram-se no Apêndice A.

Em todos os modelos, as variáveis dos percentis de 30% a 75% possuem os mesmos sinais do que foi encontrado na regressão por MQO e a mesma significância de 1%. Algo interessante é de que, para os modelos de 2005 e 2010, que possuem a participação dos setores da economia no PIB como variável explicativa, no primeiro quantil de 15% os coeficientes β_2 e β_3 , ou não possuem significância estatística ou têm de apenas 10% de significância. Ou seja, quando adicionado a participação dos setores o modelo cúbico não é bom para explicar o relacionamento do crescimento econômico e da degradação ambiental para os municípios brasileiros que possuem valores nos primeiros 15% da amostra, quando o valor do $\ln CO_2epc$ é condicionado ao $\ln PIBpc$, algo que não ocorre nos anos de 2015 e 2019 que possuem apenas o controle regional.

As Figuras 3 e 4 demonstram o ajustamento da curva para os quantis de 15%, 30%, 45%, 60%, 75% e 90 e para o modelo MQO.

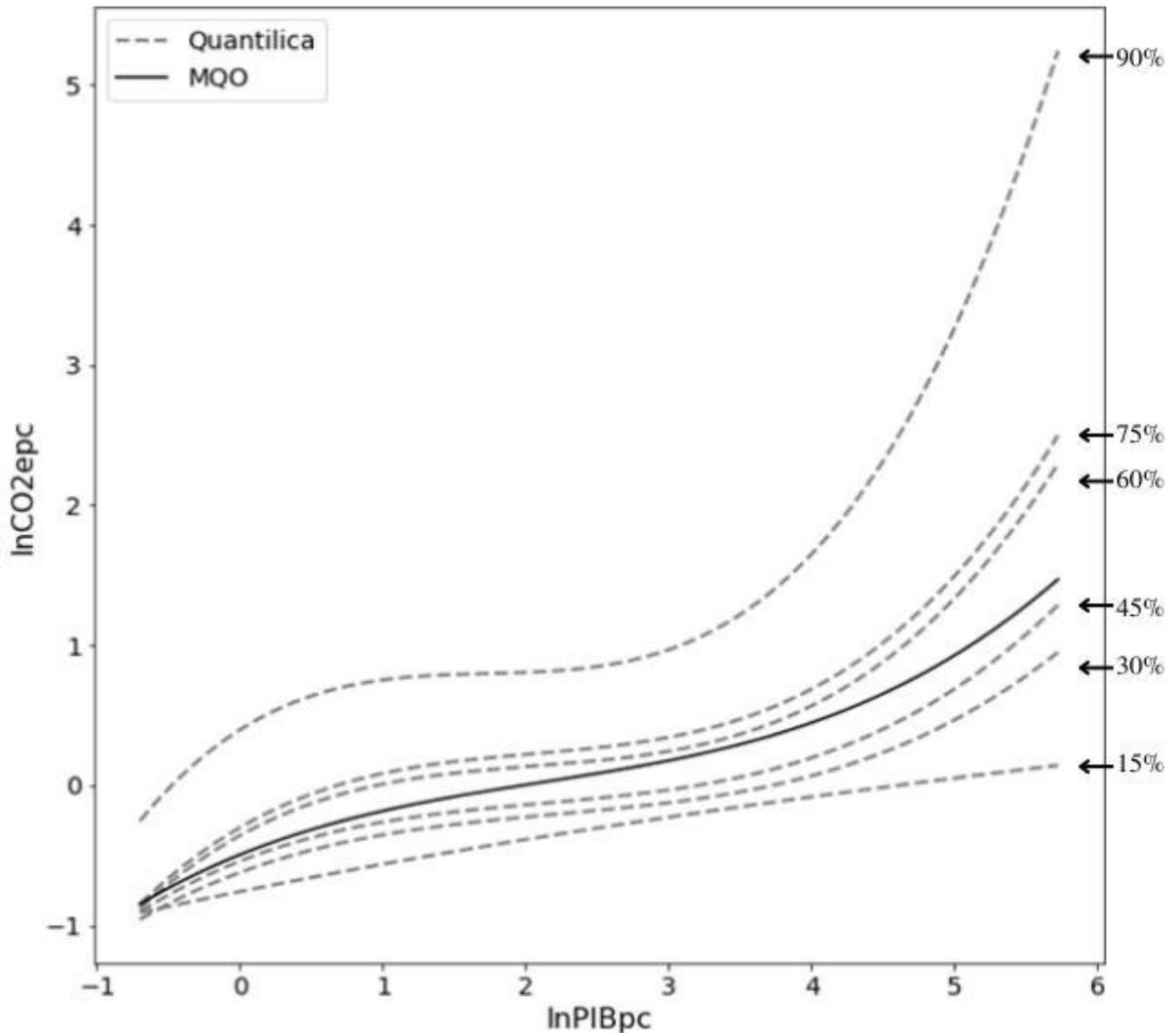
Figura 3 - Ajustamento das curvas dos quantis de 15%, 30%, 45%, 60%, 75% e 90% e do modelo em MQO para o ano de 2005 entre o $\ln\text{CO}_2\text{epc}$ e $\ln\text{PIBpc}$.



Fonte: Elaboração do autor a partir dos resultados da pesquisa.

É possível notar nas Figuras 3 e 4 que as curvas de cada quantil possuem comportamentos similares, apesar de ajustamentos um pouco diferentes. Também é possível notar que o ajustamento de cada quantil são muito próximos uns dos outros, com apenas o último quantil de 90% se afastando um pouco dos demais. Quando comparados ao modelo MQO, as linhas dos quantis tem curvaturas maior enquanto a curva do modelo MQO é mais “suavizada”, apesar de ainda terem o mesmo formato.

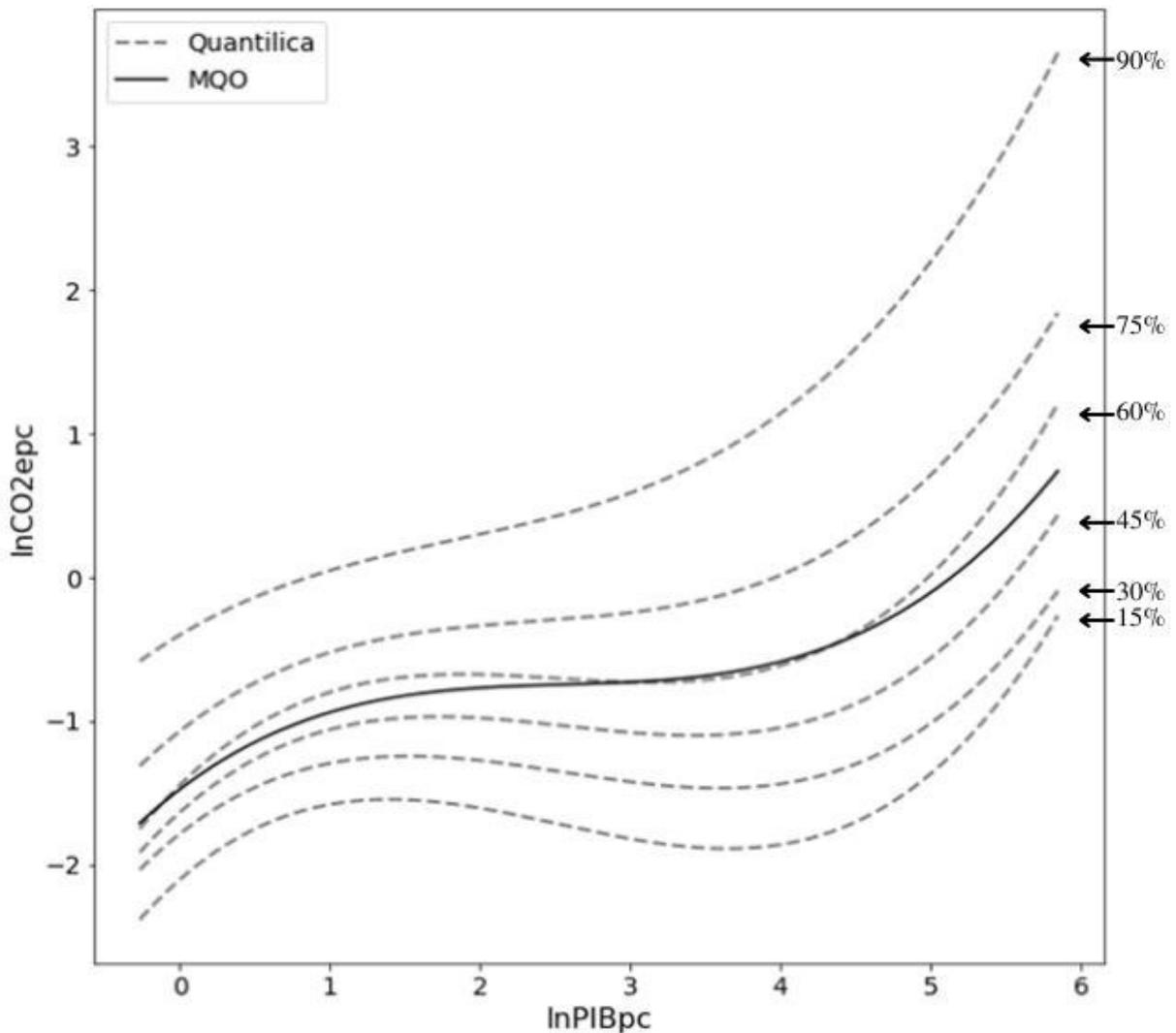
Figura 4 - Ajustamento das curvas dos quantis de 15%, 30%, 45%, 60%, 75% e 90% e do modelo em MQO para o ano de 2010 entre o $\ln\text{CO}_2\text{epc}$ e $\ln\text{PIBpc}$.



Fonte: Elaboração do autor a partir dos resultados da pesquisa.

Para os anos de 2010 e 2015, no quantil de 90%, os coeficientes β_0 e β_2 (apenas para 2015) continuam com significância, mas com 5% ou 10%. É interessante notar que, para esse mesmo quantil de 90%, apenas a *dummy* que representa os municípios da região sudeste do Brasil, perde a significância. A Figura 5 demonstra o ajustamento da curva para os quantis de 15%, 30%, 45%, 60%, 75% e 90% para o modelo MQO para o ano de 2015, e é possível perceber que as curvas possuem o mesmo formato para todos os quantis e estão mais afastadas umas das outras, diferenciando-se melhor em qual faixa de pontos cada um pertence.

Figura 5 - Ajustamento das curvas dos quantis de 15%, 30%, 45%, 60%, 75% e 90% e do modelo em MQO para o ano de 2015 entre o $\ln\text{CO}_2\text{epc}$ e $\ln\text{PIBpc}$.

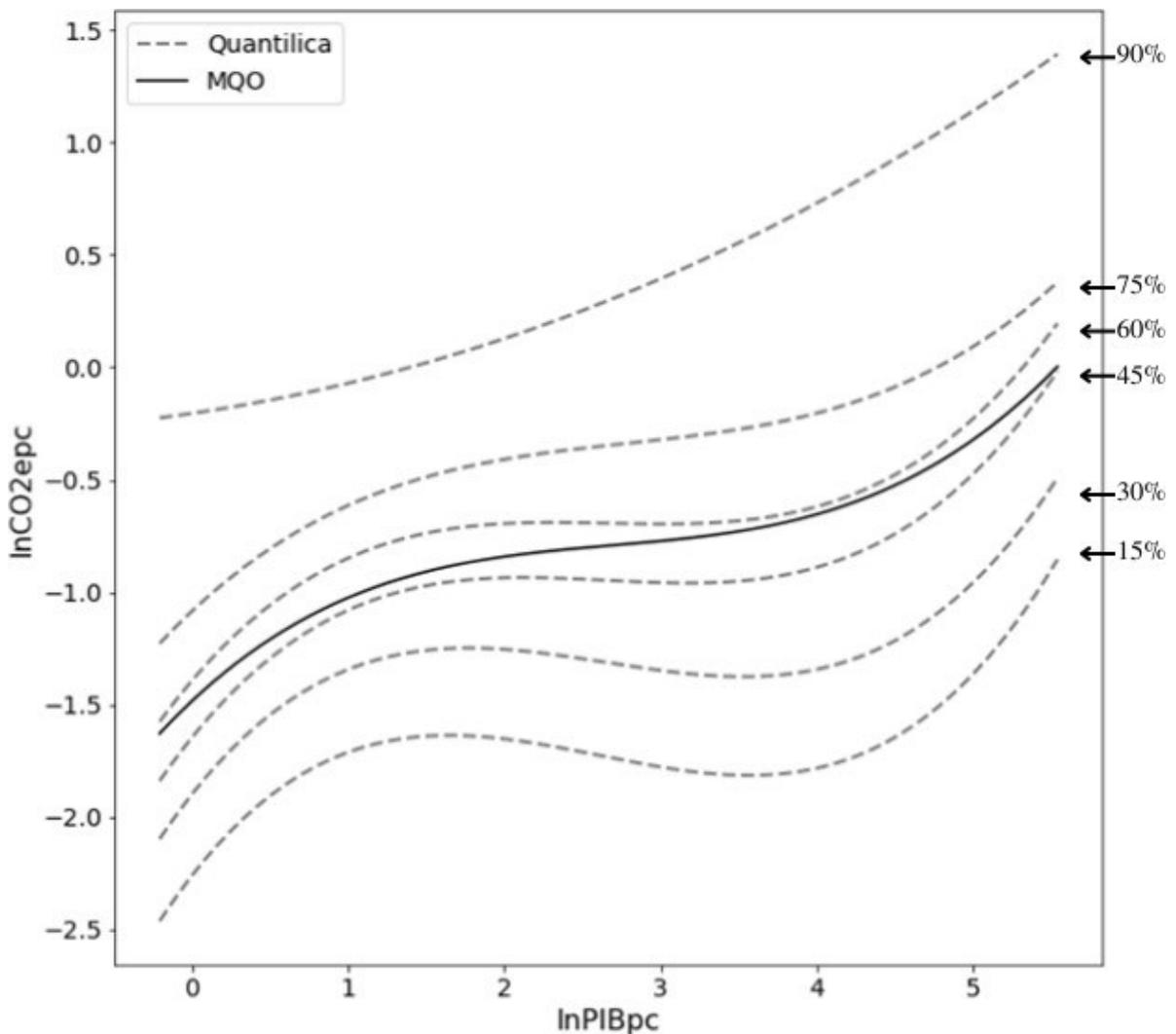


Fonte: Elaboração do autor a partir dos resultados da pesquisa.

Os resultados da regressão quantílica de 2019 foi o que se diferenciou um pouco das demais. Até o quantil de 75% as curvas possuem os mesmos formatos e igual a 2015 ajustamento mais delimitados entre si, como pode ser visto na Figura 6. Mas para o quantil de 90%, todos os coeficientes da constante e das variáveis do PIB *per capita*, são não significantes, demonstrando assim que o modelo cúbico com apenas as variáveis de controle regional, não é bom para explicar o relacionamento do crescimento econômico e da degradação ambiental para os municípios brasileiros que fazem parte do quantil de 90%, ou seja com os maiores valores do $\ln\text{CO}_2\text{epc}$ condicionado ao $\ln\text{PIBpc}$. Outra característica é de que o β_2 ficou com o sinal

positivo, contrário ao resultado de todos os outros modelos que é negativo. Na Figura 6 é possível perceber que o ajustamento da última curva, que representa o quantil de 90% é diferente das demais, apresentando pela primeira vez um comportamento diferente do esperado, porém sem significância estatística para o valor desse coeficiente.

Figura 6 - Ajustamento das curvas dos quantis de 15%, 30%, 45%, 60%, 75% e 90% e do modelo em MQO para o ano de 2019 entre o $\ln\text{CO}_2\text{epc}$ e $\ln\text{PIBpc}$.



Fonte: Elaboração do autor a partir dos resultados da pesquisa.

Outra questão é de que para os anos de 2015 e 2019, para os quantis de 15%, 30%, 45% e 60% é possível perceber que ocorre uma diminuição no crescimento das emissões, fazendo com que para estes quantis, quando o $\ln\text{CO}_2\text{epc}$ é condicionado ao $\ln\text{PIBpc}$, o modelo

cúbico possui um formato mais parecido com o de “N”, mesmo que quando estimado pela média pelo MQO, esse formato não ocorre.

Portanto, a regressão quantílica e seus resultados ajudaram a evidenciar de maneira empírica que o comportamento da relação entre crescimento econômico e degradação ambiental para os municípios brasileiros nos anos de 2005, 2010, 2015 e 2019 é de um modelo cúbico, que o formato de “N” ocorre nos quantis específicos, mas na sua média ocorre apenas uma desaceleração numa faixa do PIB *per capita* como vimos nos resultados do modelo MQO. Mas também se observa que para os municípios dos primeiros 15% e os últimos 90% o comportamento da relação pode não ser o que é esperado da literatura, já que em alguns anos os coeficientes dessas faixas não possuem significância estatística e, apesar do esperado ser de que os quantis dos municípios que mais emitem, que possuem o valor do $\ln CO_2epc$ condicionado ao $\ln PIBpc$, terem um formato diferente, esta monografia traz evidências que o padrão de comportamento é relativamente estável para todos os quantis.

O artigo publicado de Alves (2021) também realizou regressões quantílicas para a CAK. Utilizando dados em painel entre 2005 e 2016 para 143 municípios no Pará, ela analisou a relação entre desmatamento e desenvolvimento econômico. Os resultados encontrados por ela são de que o formato para a relação entre crescimento econômico e desmatamento é de “N” invertido os quantis de 50%, 75% e 99%, com coeficientes estatisticamente significantes com esses resultados corroboram o que foi encontrado por Oliveira *et al.* em 2011. Ambos os trabalhos trataram sobre o desmatamento da Amazônia, e a regressão quantílica realizada por Alves (2021) traz fortes argumentos do comportamento do desmatamento. Isso demonstra a importância na escolha da variável dependente, pois no caso de emissão de gases do efeito estufa, o comportamento subsidiado por esta monografia é de que conforme ocorre o aumento da renda, terá uma faixa na qual a poluição diminuirá a degradação ambiental, mas retornará a aumentar caso continue a aumentar a renda, enquanto para o desmatamento, ocorre algo invertido, com maiores níveis de renda diminuindo os impactos na Amazônia, como evidenciado pelos artigos mencionados. Ambos resultados são importantes, e ter conhecimentos desses possíveis comportamentos agregam para a tomada de decisão sobre o meio ambiente brasileiro.

5 CONCLUSÃO

Esta monografia teve como objetivo estimar econometricamente o padrão de relacionamento empírico entre o aumento da poluição e o crescimento econômico dos municípios brasileiros no período 2005 a 2019.

Primeiro, foi revisada a literatura da relação entre crescimento econômico e meio ambiente que versa sobre a curva ambiental de Kuznets. Foi analisado o artigo de Grossman e Krueger (1991) que originou a CAK, e como o conceito evoluiu ao longo dos anos, trazendo mais embasamento sobre quais formatos e equações existiam para a curva, quais variáveis dependentes e explicativas são boas para explicar o comportamento, resultados que subsidiam ou não este conceito. Também foram analisados trabalhos empíricos brasileiros, para checar quais pesquisas empíricas já foram realizadas, as variáveis utilizadas que se adequam ao Brasil, para qual nível geográfico foram realizados os trabalhos, como foram estimadas as curvas e os resultados e formatos das curvas obtidos desses trabalhos. Com esses trabalhos, foi possível perceber o que já havia sido feito e o que carece a literatura brasileira, fazendo essa monografia agregar mais ao tema no Brasil.

Com isso, foi realizado um levantamento e tratamento de dados secundários de renda *per capita* e emissão de dióxido de carbono dos municípios brasileiros. Utilizando dados em *cross-section* para 5550 municípios brasileiros nos anos de 2005, 2010, 2015 e 2019, verificou-se o comportamento da relação entre a emissão de CO₂ *per capita* e do PIB *per capita*, bem como seus componentes quadráticos e cúbicos (PIBpc² e PIBpc³), e variáveis que representam as participações dos setores agropecuário, industrial e de serviços no PIB, a distância dos municípios para a capital estadual e *dummies* para as regiões do Brasil.

Foram estimados 8 modelos, com interpolações das variáveis explicativas, com 4 deles sendo quadráticos e 4 cúbicos, a fim de se obter qual formato ajusta melhor o comportamento de uma CAK, nos anos pesquisados, resultando em 32 modelos totais. Cada um desses modelos foi estimado pelo MQO e feita uma análise de sensibilidade que continha os coeficientes e erro padrões resultantes das regressões, tais quais os seus graus de confiabilidade, o R² e R² ajustado, a estatística de teste do multiplicador de Lagrange, a probabilidade das estatísticas F e o valor do BIC. Também foram realizadas regressões quantílicas com os melhores modelos estimados de cada ano, com o objetivo de analisar qual o comportamento da curva por quantil dos

municípios brasileiros, trazendo assim uma compreensão maior do comportamento do CAK por faixa de renda e emissão.

Os resultados obtidos trazem evidências empíricas que subsidiam que o formato de “U” invertido não é o ideal para representar o comportamento de uma CAK nos municípios brasileiros, quando comparado ao cúbico. O formato cúbico é o que teve melhores resultados, mesmo não ocorrendo em nenhum momento a diminuição da emissão, mas sim, uma desaceleração a certos níveis de PIB pc , e que voltam a crescer conforme o PIB pc continua aumentando.

Já os resultados das regressões quantílicas, trazem mais robustez para as evidências empíricas do modelo MQO, ao subsidiar que o padrão de comportamento dos quantis analisados é relativamente estável em todos os anos, e assumindo o mesmo formato. Com ressalvas de que, apesar de na maioria dos anos os municípios dos primeiros 15% e os últimos 90% terem o comportamento estável aos demais, em alguns anos os coeficientes dessas faixas não possuem significância estatística.

Os resultados obtidos adicionam à literatura brasileira que versa sobre a CAK, que atualmente carece de pesquisas realizadas em âmbito nacional e a nível municipal. Os resultados obtidos pela regressão quantílica também adicionam à literatura, trazendo um método pouco utilizado ao tratar das CAK, e dando mais robustez para os resultados obtidos com os dados em *cross-section*, e estimados pelo MQO. Destaca-se a importância de estudos e resultados como esses, que trazem mais embasamento sobre o meio ambiente e como ele é afetado pelo crescimento econômico.

A análise deste trabalho ficou limitada aos dados em *cross-section*, que são afetados pelo viés de variável omitida. Outra limitação foi do controle regional, que as variáveis escolhidas terem impactado positivamente os resultados, como evidenciado pela presença de autocorrelação dos resíduos entres as variáveis, poderia ter sido realizado um controle melhor. Fica de sugestão para trabalhos futuros, a utilização de dados em painel no nível municipal ao longo dos anos e com um controle regional utilizando uma matriz de vizinhança, que é disponibilizada pelo IPEAGEO.

REFERÊNCIAS

- ALVES, Vanessa da Paixão. DETERMINANTES DO DESMATAMENTO NO ESTADO DO PARÁ: uma análise com regressões quantílicas para dados em painel. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, [S.L.], v. 17, n. 3, p. 0-0, 25 out. 2021. Fundacao de Apoio a Pesquisa, Tecnologia e Inovacao. <http://dx.doi.org/10.54399/rbgdr.v17i3.6456>.
- BENNETT, Burton G. *et al.* Urban air pollution worldwide. **Environmental Science & Technology**, [S.L.], v. 19, n. 4, p. 298-304, abr. 1985. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/es00134a603>.
- CARSON, Richard T.. The Environmental Kuznets Curve: seeking empirical regularity and theoretical structure. **Review Of Environmental Economics And Policy**, [S.L.], v. 4, n. 1, p. 3-23, 1 jan. 2010. University of Chicago Press. <http://dx.doi.org/10.1093/reep/rep021>.
- CHOW, Gregory C.; LI, Jie. Environmental Kuznets Curve: conclusive econometric evidence for co2. **Pacific Economic Review**, [S.L.], v. 19, n. 1, p. 1-7, fev. 2014. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/1468-0106.12048>.
- FERNANDES, Cinthia Izabela Pina. **Crescimento econômico versus emissões de CO2: uma análise sob a ótica da curva ambiental de kuznets**. 2021. 60 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Administração Pública, Programa de Pós-Graduação em Administração Pública, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Teófilo Otoni, 2021.
- FRANK, Robert H. *et al.* **Principles of microeconomics**. 3. ed. North Ryde: McGraw-Hill Australia, 2012. 476 p.
- GROSSMAN, G. M.; KRUEGER, A. B.. Economic Growth and the Environment. **The Quarterly Journal Of Economics**, Massachusetts, v. 110, n. 2, p. 353-377, 1 maio 1995. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.2307/2118443>.
- GROSSMAN, Gene M.; KRUEGER, Alan B.. Environmental impacts of a North American free trade agreement. **Nber Working Papers Series**, Cambridge, n. 3914, 1991.
- HARBAUGH, William T. *et al.* Reexamining the Empirical Evidence for an Environmental Kuznets Curve. **Review Of Economics And Statistics**, [S.L.], v. 84, n. 3, p. 541-551, ago. 2002. MIT Press - Journals. <http://dx.doi.org/10.1162/003465302320259538>.
- IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2022. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/pt/inicio.html>. Acesso em: 01 dez. 2022.
- IPEA. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**. 2022. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>. Acesso em: 01 dez. 2022.
- IPEA. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada: dicionário de conceitos**. Dicionário de conceitos. 2022. Disponível em: http://www.ipeadata.gov.br/iframe_dicionario.aspx. Acesso em: 13 dez. 2022.

KAIKA, Dimitra; ZERVAS, Efthimios. The environmental Kuznets curve (EKC) theory. Part B: critical issues. **Energy Policy**, [S.L.], v. 62, p. 1403-1411, nov. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.07.130>.

KOENKER, Roger; BASSETT, Gilbert. Regression Quantiles. **Econometrica**, [S.L.], v. 46, n. 1, p. 33, jan. 1978. JSTOR. <http://dx.doi.org/10.2307/1913643>.

KOENKER, Roger; HALLOCK, Kevin F. Quantile Regression. **Journal Of Economic Perspectives**, Champaign, v. 15, n. 4, p. 143-156, 1 nov. 2001. American Economic Association. <http://dx.doi.org/10.1257/jep.15.4.143>.

KUZNETS, Simon. Economic Growth and Income Inequality. **The American Economic Review**, [S.L.], v. 45, n. 1, p. 1-28, mar. 1955.

MCPHERSON, Michael A.; NIESWIADOMY, Michael L.. Environmental Kuznets curve: threatened species and spatial effects. **Ecological Economics**, [S.L.], v. 55, n. 3, p. 395-407, nov. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.12.004>.

OLIVEIRA, Rejane Corrêa de; ALMEIDA, Eduardo; FREGUGLIA, Ricardo da Silva; BARRETO, Ricardo Candêa Sá. Desmatamento e crescimento econômico no Brasil: uma análise da curva de kuznets ambiental para a amazônia legal. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, [S.L.], v. 49, n. 3, p. 709-739, set. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-20032011000300008>.

SEEG. **Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, Observatório do Clima**. 2022. Disponível em: <http://seeg.eco.br/download>. Acesso em: 01 dez. 2022.

SELDEN, Thomas M.; SONG, Daqing. Environmental Quality and Development: is there a kuznets curve for air pollution emissions?. **Journal Of Environmental Economics And Management**, Nova York, v. 27, n. 2, p. 147-162, set. 1994. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1006/jeem.1994.1031>.

SHAFIK, Nemat. Economic Development and Environmental Quality: an econometric analysis. **Oxford Economic Papers**, [S.L.], v. 46, n. 1, p. 757-773, out. 1994. Oxford University Press (OUP). http://dx.doi.org/10.1093/oep/46.supplement_1.757.

SOUSA, Alexandre Gervasio; ARAUJO, Aracy Alves; SANTOS, Ricardo Bruno Nascimento dos; SANTOS, Francivane Teles Pampolha dos; DINIZ, Marvelo Bentes. Sustentabilidade e meio ambiente no Brasil: uma análise a partir da curva de kuznets. **Xlvi Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural**, [S.L.], v. 0, n. 0, p. 0-0, 2008. <http://dx.doi.org/10.22004/AG.ECON.103103>.

STERN, David I. The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve. **World Development**, Nova York, v. 32, n. 8, p. 1419-1439, ago. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.03.004>.

STERN, David I.. The environmental Kuznets curve after 25 years. **Journal Of Bioeconomics**, Lennox Crossing, v. 19, n. 1, p. 7-28, 9 jan. 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10818-017-9243-1>.

SUMMERS, Robert; HESTON, Alan. The Penn World Table (Mark 5): an expanded set of international comparisons, 1950-1988. **The Quarterly Journal Of Economics**, [S.L.], v. 106, n. 2, p. 327, maio 1991. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.2307/2937941>.

VOLLEBERGH, Herman R.J.; MELENBERG, Bertrand; DIJKGRAAF, Elbert. Identifying reduced-form relations with panel data: the case of pollution and income. **Journal Of Environmental Economics And Management**, [S.L.], v. 58, n. 1, p. 27-42, jul. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jeem.2008.12.005>.

WAGNER, Martin. The carbon Kuznets curve: a cloudy picture emitted by bad econometrics?. **Resource And Energy Economics**, [S.L.], v. 30, n. 3, p. 388-408, ago. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.reseneeco.2007.11.001>.

WAGNER, Martin. The Environmental Kuznets Curve, Cointegration and Nonlinearity. **Journal Of Applied Econometrics**, [S.L.], v. 30, n. 6, p. 948-967, 30 set. 2014. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/jae.2421>.

WCED. **Our Common Future**: report of the world commission on environment and development. Geneva: Oxford University Press, 1987. 400 p.

WOOLDRIDGE, Jeffrey M.. **Introductory Econometrics**: a modern approach. 5. ed. Mason: South Western Educational Publishing, 2012. 881 p.

ZHANG, Xin; DAVIDSON, Eric A.; MAUZERALL, Denise L.; SEARCHINGER, Timothy D.; DUMAS, Patrice; SHEN, Ye. Managing nitrogen for sustainable development. **Nature**, [S.L.], v. 528, n. 7580, p. 51-59, 23 nov. 2015. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/nature15743>.

APÊNDICE A

Tabela A – 1 – Cinco municípios brasileiros que mais emitem CO₂*epc* nos anos de 2005, 2010, 2015 e 2019.

Ano	Município	CO ₂ <i>epc</i>
2005	Nova Maringá (MT)	5.849,67
	Cumaru do Norte (PA)	4.283,50
	Santa Cruz do Xingu (MT)	3.888,51
	Ipiranga do Norte (MT)	3.388,77
	Santa Carmem (MT)	3.237,01
2010	Cumaru do Norte (PA)	699,86
	Gaúcha do Norte (MT)	669,34
	Ipiranga do Norte (MT)	607,29
	Santa Cruz do Xingu (MT)	530,64
	Santa Rita do Trivelato (MT)	486,67
2015	Gaúcha do Norte (MT)	901,60
	União do Sul (MT)	631,15
	Bannach (PA)	601,19
	Pimenteiras do Oeste (RO)	582,95
	Itaúba (MT)	545,08
2019	União do Sul (MT)	1.831,38
	Santa Cruz do Xingu (MT)	845,60
	Senador José Porfirio (PA)	829,48
	Serra Nova Dourada (MT)	758,40
	Jacareacanga (PA)	689,54

Fonte: Elaboração do autor a partir dos resultados da pesquisa.

Tabela A-2 – Resultado da regressão quantílica com o coeficiente, erro padrão e grau de significância dos quantis de 15%, 30%, 45%, 60%, 75% e 90% e do modelo em MQO para o ano de 2005.

2005	15%	30%	45%	60%	75%	90%	MQO
Constante	-1,215 (0,123)***	-1,386 (0,112)***	-1,408 (0,118)***	-1,329 (0,131)***	-1,293 (0,162)***	-0,908 (0,234)***	-1,391 (0,138)***
Pibpc	0,360 (0,071)***	0,444 (0,062)***	0,475 (0,063)***	0,512 (0,068)***	0,474 (0,083)***	0,512 (0,129)***	0,506 (0,084)***
Pibpc ²	-0,074 (0,038)*	-0,117 (0,034)***	-0,156 (0,035)***	-0,166 (0,036)***	-0,138 (0,044)***	-0,222 (0,070)***	-0,128 (0,046)***
Pibpc ³	0,011 (0,006)*	0,015 (0,005)***	0,022 (0,006)***	0,024 (0,006)***	0,020 (0,007)***	0,042 (0,011)***	0,018 (0,008)**
Part. Agropecuária no PIB	0,300 (0,013)***	0,251 (0,012)***	0,231 (0,013)***	0,216 (0,015)***	0,176 (0,018)***	0,175 (0,026)***	0,224 (0,015)***
Part. Indústria no PIB	-0,111 (0,019)***	-0,185 (0,018)***	-0,232 (0,019)***	-0,286 (0,021)***	-0,346 (0,026)***	-0,364 (0,038)***	-0,247 (0,022)***
Part. Serviços no PIB	-0,369 (0,042)***	-0,542 (0,038)***	-0,693 (0,038)***	-0,798 (0,041)***	-1,039 (0,048)***	-1,132 (0,068)***	-0,674 (0,048)***
Distância da Capital estadual	0,308 (0,016)***	0,325 (0,014)***	0,329 (0,015)***	0,316 (0,016)***	0,301 (0,020)***	0,296 (0,029)***	0,340 (0,017)***
Dummy Sudeste	0,575 (0,036)***	0,499 (0,033)***	0,521 (0,035)***	0,459 (0,038)***	0,394 (0,047)***	0,357 (0,070)***	0,389 (0,036)***
Dummy Norte	1,693 (0,048)***	2,030 (0,043)***	2,118 (0,044)***	2,179 (0,047)***	2,148 (0,056)***	2,429 (0,077)***	2,013 (0,065)***
Dummy Sul	0,559 (0,043)***	0,446 (0,039)***	0,410 (0,041)***	0,314 (0,044)***	0,214 (0,054)***	0,321 (0,080)***	0,302 (0,043)***
Dummy Centro-Oeste	1,886 (0,054)***	1,895 (0,048)***	1,963 (0,049)***	1,915 (0,052)***	1,874 (0,062)***	2,421 (0,089)***	1,967 (0,066)***

Fonte: Elaboração do autor a partir dos resultados da pesquisa.

Nota: * significativo a 10%; ** significativo a 5%; *** significativo a 1%; sem a presença de * é não significativo.

Tabela A-3 – Resultado da regressão quantílica com o coeficiente, erro padrão e grau de significância dos quantis de 15%, 30%, 45%, 60%, 75% e 90% e do modelo em MQO para o ano de 2010.

2010	15%	30%	45%	60%	75%	90%	MQO
Constante	-0,759 (0,126)***	-0,623 (0,113)***	-0,542 (0,112)***	-0,359 (0,130)***	-0,302 0,152**	0,396 (0,230)*	-0,496 (0,131)***
Pibpc	0,208 (0,094)**	0,379 (0,082)***	0,404 (0,080)***	0,565 (0,088)***	0,592 0,094***	0,646 (0,133)***	0,413 (0,091)***
Pibpc ²	-0,012 (0,045)	-0,129 (0,040)***	-0,148 (0,039)***	-0,236 (0,043)***	-0,244 0,045***	-0,358 (0,064)***	-0,119 (0,048)**
Pibpc ³	0,001 (0,006)	0,019 (0,006)***	0,023 (0,006)***	0,038 0,006***	0,040 (0,006)***	0,069 (0,009)***	0,019 (0,008)**
Part. Agropecuária no PIB	0,252 (0,012)***	0,251 (0,011)***	0,238 (0,012)***	0,239 0,014***	0,207 (0,016)***	0,224 (0,024)***	0,223 (0,014)***
Part. Indústria no PIB	-0,103 (0,020)***	-0,141 (0,018)***	-0,186 (0,018)***	-0,222 0,022***	-0,287 (0,025)***	-0,210 (0,036)***	-0,201 (0,021)***
Part. Serviços no PIB	-0,414 (0,044)***	-0,577 (0,038)***	-0,695 (0,036)***	-0,762 0,041***	-0,855 (0,045)***	-0,884 (0,066)***	-0,633 (0,047)***
Distância da Capital estadual	0,260 (0,016)***	0,236 (0,014)***	0,225 (0,013)***	0,200 0,015***	0,194 (0,018)***	0,200 (0,026)***	0,236 (0,015)***
Dummy Sudeste	0,462 (0,034)***	0,492 (0,031)***	0,465 (0,031)***	0,407 0,036***	0,338 (0,042)***	0,244 (0,060)***	0,358 (0,033)***
Dummy Norte	1,155 (0,047)***	1,396 (0,041)***	1,457 (0,040)***	1,498 0,045***	1,481 (0,050)***	1,426 (0,071)***	1,341 (0,055)***
Dummy Sul	0,476 (0,043)***	0,474 (0,039)***	0,412 (0,038)***	0,348 0,044***	0,273 (0,050)***	0,204 (0,075)***	0,316 (0,042)***
Dummy Centro-Oeste	1,486 (0,052)***	1,610 (0,046)***	1,619 (0,044)***	1,556 0,050***	1,568 (0,057)***	1,613 (0,082)***	1,530 (0,054)***

Fonte: Elaboração do autor a partir dos resultados da pesquisa.

Nota: * significativo a 10%; ** significativo a 5%; *** significativo a 1%; sem a presença de * é não significativo.

Tabela A-4 – Resultado da regressão quantílica com o coeficiente, erro padrão e grau de significância dos quantis de 15%, 30%, 45%, 60%, 75% e 90% e do modelo em MQO para o ano de 2015.

2015	15%	30%	45%	60%	75%	90%	MQO
Constante	-2,105 (0,115)***	-1,786 (0,099)***	-1,637 (0,106)***	-1,447 (0,113)***	-1,072 (0,132)***	-0,402 (0,192)**	-1,477 (0,104)***
Pibpc	0,920 (0,145)***	0,830 (0,117)***	0,933 (0,119)***	1,026 (0,123)***	0,822 (0,139)***	0,625 (0,189)***	0,800 (0,116)***
Pibpc ²	-0,456 (0,076)***	-0,388 (0,058)***	-0,407 (0,058)***	-0,435 (0,059)***	-0,315 (0,066)***	-0,215 (0,091)**	-0,301 (0,06)***
Pibpc ³	0,060 (0,012)***	0,051 (0,008)***	0,053 (0,008)***	0,058 (0,008)***	0,045 (0,01)***	0,039 (0,013)***	0,039 (0,009)***
Part. Agropecuária no PIB							
Part. Indústria no PIB							
Part. Serviços no PIB							
Distância da Capital estadual	0,467 (0,016)***	0,461 (0,014)***	0,460 (0,015)***	0,461 (0,016)***	0,473 (0,018)***	0,480 (0,028)***	0,476 (0,015)***
Dummy Sudeste	0,535 (0,040)***	0,548 (0,035)***	0,531 (0,037)***	0,496 (0,040)***	0,363 (0,048)***	0,096 (0,071)	0,316 (0,037)***
Dummy Norte	1,568 (0,055)***	1,891 (0,047)***	2,052 (0,049)***	2,199 (0,051)***	2,316 (0,059)***	2,241 (0,084)***	1,931 (0,062)***
Dummy Sul	0,921 (0,050)***	0,986 (0,043)***	0,924 (0,046)***	0,811 (0,049)***	0,609 (0,059)***	0,337 (0,089)***	0,620 (0,047)***
Dummy Centro-Oeste	2,039 (0,061)***	2,219 (0,052)***	2,260 (0,054)***	2,246 (0,057)***	2,146 (0,066)***	1,936 (0,096)***	1,961 (0,062)***

Fonte: Elaboração do autor a partir dos resultados da pesquisa.

Nota: * significativo a 10%; ** significativo a 5%; *** significativo a 1%; sem a presença de * é não significativo.

Tabela A-5 – Resultado da regressão quantílica com o coeficiente, erro padrão e grau de significância dos quantis de 15%, 30%, 45%, 60%, 75% e 90% e do modelo em MQO para o ano de 2019.

2019	15%	30%	45%	60%	75%	90%	MQO
Constante	-2,261 (0,119)***	-1,899 (0,113)***	-1,646 (0,110)***	-1,392 (0,112)***	-1,084 (0,125)***	-0,205 (0,191)	-1,484 (0,112)***
Pibpc	0,893 (0,138)***	0,881 (0,130)***	0,862 (0,124)***	0,817 (0,123)***	0,651 (0,134)***	0,103 (0,202)	0,652 (0,126)***
Pibpc ²	-0,396 (0,067)***	-0,374 (0,062)***	-0,339 (0,059)***	-0,312 (0,058)***	-0,206 (0,063)***	0,031 (0,095)	-0,220 (0,062)***
Pibpc ³	0,051 (0,010)***	0,047 (0,009)***	0,043 (0,008)***	0,039 (0,008)***	0,025 (0,009)***	0,001 (0,013)	0,027 (0,009)***
Part. Agropecuária no PIB							
Part. Indústria no PIB							
Part. Serviços no PIB							
Distância da Capital estadual	0,461 (0,017)***	0,441 (0,016)***	0,434 (0,015)***	0,438 (0,015)***	0,454 (0,017)***	0,467 (0,025)***	0,459 (0,015)***
Dummy Sudeste	0,442 (0,041)***	0,516 (0,039)***	0,535 (0,038)***	0,563 (0,039)***	0,458 (0,043)***	0,221 (0,061)***	0,376 (0,034)***
Dummy Norte	1,410 (0,055)***	1,723 (0,053)***	1,927 (0,050)***	2,092 (0,050)***	2,181 (0,055)***	2,310 (0,077)***	1,860 (0,064)***
Dummy Sul	0,930 (0,051)***	1,043 (0,048)***	1,002 (0,047)***	0,976 (0,048)***	0,812 (0,054)***	0,543 (0,078)***	0,769 (0,044)***
Dummy Centro-Oeste	1,973 (0,062)***	2,151 (0,058)***	2,179 (0,055)***	2,244 (0,055)***	2,211 (0,061)***	2,136 (0,086)***	2,015 (0,061)***

Fonte: Elaboração do autor a partir dos resultados da pesquisa.

Nota: * significativo a 10%; ** significativo a 5%; *** significativo a 1%; sem a presença de * é não significativo.

APÊNDICE B

Link para a base de dados e o código utilizado para a realização das regressões:

<https://github.com/Gustavo-Barros7/A-Curva-Ambiental-de-Kuznets-Uma-Analise-para-os-munic-pios-brasileiros>