

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

Olavo Martins Mellito

Análise das curvas Ambientais de Kuznets dos Municípios da Amazônia Legal

Florianópolis

2024

Olavo Martins Mellito

Análise das curvas Ambientais de Kuznets dos Municípios da Amazônia Legal

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

Florianópolis

2024

Ficha catalográfica gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pela BU/UFSC.
Dados inseridos pelo próprio autor.

Mellito, Olavo
Análise das curvas Ambientais de Kuznets dos Municípios
da Amazônia Legal / Olavo Mellito ; orientador, Guilherme
Oliveira, 2024.
54 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro
Socioeconômico, Graduação em Ciências Econômicas,
Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Ciências Econômicas. 2. Curva de Kuznets. 3. Meio
Ambiente. 4. Amazônia Legal. 5. Política Pública. I.
Oliveira, Guilherme. II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Graduação em Ciências Econômicas. III. Título.

Olavo Martins Mellito

Análise das curvas Ambientais de Kuznets dos Municípios da Amazônia Legal

Florianópolis, 16 de dezembro de 2024.

O presente Trabalho de Conclusão de Curso foi avaliado e aprovado pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Liana Bohn, Dra.

Avaliadora

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Guilherme de Oliveira Dr.

Orientador

Prof. Pedro Chaim, Dr.

Avaliador

Universidade Federal de Santa Catarina

Certifico que esta é a **versão original e final** do Trabalho de Conclusão de Curso que foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel em Economia por mim e pelos demais membros da banca examinadora.

Florianópolis, 2024.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer ao Professor Guilherme de Oliveira pela paciência e dedicação exibida durante todo o processo de orientação. Não apenas foi um ótimo professor durante a graduação, mas mostrou um nível de comprometimento e dedicação à orientação que almejo alcançar no restante da minha vida profissional.

Agradeço a minha família e meus amigos que sempre me apoiaram durante a minha vida. Visto que esta é a minha Monografia gostaria de citar especialmente meus amigos e colegas de turma que já passaram dessa para a melhor (se formaram), em nenhuma ordem em particular: Rafael Rigoni, Gabriel Giusti, Ismael Lohmann, Jesus Cruz e Eduardo Gaspar.

RESUMO

Este trabalho analisa as Curvas Ambientais de Kuznets (CAK) nos municípios da Amazônia Legal, com foco nos impactos das políticas públicas de controle do desmatamento e desenvolvimento econômico. Com o objetivo de comparar as Curvas de Kuznets ambientais entre os municípios afetados pelas políticas de controle de desmatamento e os outros municípios da Amazônia Legal. A CAK é uma relação hipotética em que, inicialmente, o crescimento econômico eleva as emissões de poluentes, mas, após um ponto crítico de renda per capita, as emissões diminuem. A análise compara municípios prioritários sujeitos ao Decreto nº 6.321/2007 (que implementa restrições de crédito rural como medida para controlar o desmatamento) com outros municípios da região. Utilizando dados de PIB per capita e emissões de dióxido de carbono (CO₂) disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases do Efeito Estufa (SEEG) para os anos de 2005, 2010, 2015 e 2020, foram estimadas curvas para diferentes grupos de municípios utilizando o método dos mínimos quadrados ordinários (MQO) para estimar as curvas de Kuznets. Os resultados indicam que, enquanto a CAK se confirma para a maioria dos municípios, os municípios sob restrições de crédito apresentam padrões divergentes, com algumas curvas sugerindo aumento de emissões após uma queda inicial e, portanto, não se enquadram no formato das curvas de Kuznets. Os achados sugerem que políticas públicas podem influenciar a relação entre crescimento econômico e impacto ambiental. Apesar disso, limitações nos dados e mudanças no foco da pesquisa apontam a necessidade de aprofundamento em estudos futuros, incluindo uma análise mais detalhada do desmatamento como métrica ambiental.

Palavras-chave: Curva de Kuznets Ambiental; Amazônia Legal; Emissões de CO₂; desenvolvimento sustentável.

ABSTRACT

This study examines the Environmental Kuznets Curves (EKC) in the municipalities of the Legal Amazon, focusing on the impacts of public policies for deforestation control and economic development. The objective is to compare the EKC patterns between municipalities affected by deforestation control policies and other municipalities in the region. The EKC represents a hypothetical relationship where economic growth initially increases pollutant emissions but eventually leads to reductions after a critical per capita income level is reached. The analysis compares priority municipalities subjected to restrictions imposed by Decree No. 6,321/2007 (which enforces rural credit limitations as a measure to control deforestation) with other municipalities in the Legal Amazon. Using data on GDP per capita and carbon dioxide (CO₂) emissions provided by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) and the Greenhouse Gas Emissions and Removal Estimating System (SEEG) for the years 2005, 2010, 2015, and 2020, curves were estimated for different groups of municipalities using the ordinary least squares (OLS) method. Results indicate that while the EKC is confirmed for most municipalities, those subject to credit restrictions display divergent patterns, with some curves suggesting an increase in emissions after an initial decline, thus deviating from the Kuznets curve model. The findings suggest that public policies can significantly influence the relationship between economic growth and environmental impact. However, data limitations and shifts in the research focus highlight the need for further studies, including a more detailed analysis of deforestation as an environmental metric.

Keywords: Environmental Kuznets Curve; Legal Amazon; CO₂ emissions; sustainable development.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Relacionamentos empíricos examinados em Grossman e Krueger (1991).....18

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação literatura empírica que versa sobre a CKA nos municípios da Amazônia Legal.....	22
Tabela 2 – Estimação da CKA para todos os municípios da Amazônia Legal 2005-2020.....	32
Tabela 3 -Municípios Fora da lista, Erros Robustos.....	33
Tabela 4 – Municípios da Lista, Erros Robustos.....	34
Tabela A1 – Todos os municípios, Erros Robustos 2005/2010.....	41
Tabela A2 - Todos os municípios, Erros Robustos 2015/2020.....	42
Tabela A3 - Todos os municípios, Erros Agrupados por Estado 2005/2010.....	43
Tabela A4 - Todos os municípios, Erros Agrupados por Estado 2015/2020.....	44
Tabela A5 - Municípios Fora da Lista, Erros Robustos 2005/2010.....	45
Tabela A6 - Municípios Fora da Lista, Erros Robustos 2015/2020.....	46
Tabela A7 - Municípios Fora da Lista, Erros Agrupados por Estado 2005/2010.....	47
Tabela A8 - Municípios Fora da Lista, Erros Agrupados por Estado 2015/2020.....	48
Tabela A9 - Municípios da Lista, Erros Robustos 2005/2010.....	49
Tabela A10 -Municípios da Lista, Erros Robustos 2015/2020.....	50
Tabela A11 - Municípios da Lista, Erros Agrupados por Estado 2005/2010.....	51
Tabela A12 - Municípios da Lista, Erros Agrupados por Estado 2015/2020.....	52
Tabela A13 - Todos os municípios, Erros Robustos.....	53
Tabela A14 -Municípios Fora da lista, Erros Robustos.....	54
Tabela A15 – Municípios da Lista, Erros Robustos.....	55

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	OBJETIVOS.....	15
1.1.1	OBJETIVO GERAL	15
1.1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.2	DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	15
1.3	ESTRUTURA DA MONOGRAFIA	17
2	LITERATURA RELACIONADA	18
2.1	EVIDÊNCIAS PARA AMAZÔNIA LEGAL.....	21
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	23
3.1	AMOSTRA, COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS.....	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5	CONCLUSÃO	37
	REFERÊNCIAS	38
	APÊNDICE A	41

1 INTRODUÇÃO

Desde a contribuição de Grossman e Krueger (1991) para a literatura de comércio internacional e meio ambiente, a Curva de Kuznets Ambiental (CKA) se tornou o tema de pesquisa aplicada mais explorado na literatura de economia do meio ambiente.¹ Em sua versão canônica, a CKA prevê que o fluxo de degradação cresce com a renda *per capita*, atinge um máximo e depois passa a cair à medida que a renda *per capita* aumenta, configurando, ilustrativamente, um *U*-invertido. Esses trabalhos concentram-se no formato empírico da CKA. As estratégias utilizam dados em painel, séries de tempo ou dados de cortes transversais, variando entre estimativas para países, regiões, municípios, até domicílios (STERN, 2017).

O presente trabalho procura contribuir para essa literatura ao analisar as diferenças entre as Curvas de Kuznets Ambientais dos municípios da Amazônia Legal. A Amazônia Legal é uma região brasileira delimitada pelo governo federal com o objetivo de promover o desenvolvimento socioeconômico da região amazônica. Essa delimitação engloba nove estados brasileiros: Acre, Amazonas, Amapá, Pará, Maranhão (em sua maior parte), Mato Grosso, Rondônia, Roraima e Tocantins, que junto totalizam quase 61% do território nacional (IBGE, 2024). Contém 29,6 milhões de habitantes e representa 11,2% do PIB nacional ou 764 bilhões de R\$. (IBGE 2021) A Amazônia Legal, por sua vasta extensão e biodiversidade, desempenha um papel fundamental na regulação do clima global, agindo como um sumidouro de carbono e influenciando os padrões de chuva em grande parte da América do Sul por conta dos chamados “rios aéreos” que levam a humidade e a chuva para diversos biomas na América do Sul, tornando-a uma aliada indispensável no combate às mudanças climáticas.

A heterogeneidade socioeconômica e ambiental da Amazônia Legal sugere que a relação entre crescimento econômico e desmatamento pode variar significativamente entre os municípios. Fatores como a composição do produto interno bruto, a dependência de atividades extrativistas, a pressão demográfica e a eficácia das políticas ambientais podem governar essa relação. De maneira geral, a literatura empírica sobre a CKA para desmatamento da Amazônia Legal aponta evidências variadas. Alguns estudos encontram um formato *U* invertido (SANTOS, *et al.*, 2008), enquanto outros sugerem um formato de *N*, na qual as emissões

¹ A curva de Kuznets proposta pelo economista Simon Kuznets (KUZNETS, 1955) procurava explicar a mudança de relacionamento entre o crescimento do produto interno bruto (PIB) *per capita* e a desigualdade de renda, o resultado apresentava uma curva no formato de *U* invertido entre as variáveis, em que a partir de um certo ponto crítico de renda *per capita* haveria a tendência de redução da desigualdade.

primeiro crescem, atingem um máximo local, passam a cair atingindo um novo mínimo local, a partir do qual a passam a subir novamente com níveis de renda *per capita* mais altos (OLIVEIRA *et al.*, 2011). Para diferentes anos, ambos os estudos abordam a questão com dados de cortes transversais estimados pela técnica de mínimos quadrados ordinários (MQO).

Apesar de partir dessa literatura, a estratégia empírica deste estudo é diferente. Procuramos levar em conta a heterogeneidade socioeconômica da Amazônia Legal, por meio do reconhecimento dos diferentes perfis municipais de desmatamento e emissão de gases do efeito estufa (GEE), que se tornou possível politicamente a partir do Decreto 6.321/2007. O decreto N° 6.321/2007, de dezembro de 2007 estabelece parâmetros e medidas para prevenir monitorar e controlar o desmatamento ilegal. Este monitoramento é feito pelo INPE (Instituto nacional de pesquisas espaciais) e estabelece parâmetros a nível municipal para a área total desmatada, a área desmatada nos últimos três anos e a taxa de desmatamento dos últimos cinco anos sendo três anos de aumento da taxa. Este decreto, portanto, forma uma lista de municípios prioritários ou coloquialmente uma “Lista negra” de municípios que, perdem benefícios fiscais e tem programas de suporte as suas atividades econômicas suspensos enquanto não tomam medidas para diminuir o desmatamento e uso indevido da terra. Estes cortes de benefícios fiscais e acesso a linhas de crédito afetam o nível de desmatamento nestes municípios (ASSUNÇÃO, *et al.*, 2019). Nesse sentido, o presente estudo analisa o formato da CKA nos municípios da Amazônia Legal dentro e fora da “lista negra” no período de 2005 (pré-intervenção) a 2020.

Entre 2005 e 2020, a gestão da Amazônia Legal passou por diferentes estruturas de incentivo moldadas pelas prioridades dos governos em exercício. Durante os anos iniciais, a política ambiental brasileira foi marcada por esforços significativos de combate ao desmatamento, como o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), implementado no governo Lula. Esses esforços resultaram na redução substancial das taxas de desmatamento, impulsionados por incentivos à fiscalização ambiental, regularização fundiária e criação de áreas protegidas. No entanto, a partir de 2016, com a instabilidade política e a transição de governos, observou-se um enfraquecimento dessas políticas, com cortes orçamentários e flexibilização de regulações ambientais. No final do período, durante o governo Bolsonaro, houve uma mudança expressiva na estrutura de incentivos, com foco no desenvolvimento econômico baseado em atividades como mineração e agropecuária, acompanhado por uma redução do protagonismo de agências reguladoras como o IBAMA. Essa variação nos incentivos ao longo dos anos reflete a complexidade de equilibrar desenvolvimento econômico, conservação ambiental e pressões políticas, resultando em

desafios persistentes para a gestão sustentável da Amazônia (MOREIRA, et al. 2016; FERNANDES, 2022).

A abordagem econométrica desse estudo compara quatro cortes transversais de municípios correspondendo aos anos de 2005, 2010, 2015 e 2020. Ao invés de trabalhar com o desmatamento em si, a variável ambiental é emissão equivalente *per capita* de dióxido de carbono resultante da atividade econômica presente nos municípios estudados. O CO₂ é o principal gás causador do efeito estufa sendo liberado, *inter alia*, pelo corte de árvores na Amazônia. No Brasil, o desmatamento representa a principal fonte de emissão de gases do efeito estufa (SEEG, 2024). O efeito do produto interno bruto, PIB, per capita é testado por diferentes formas funcionais estimadas a partir de mínimos quadrados ordinários.

Embora a estratégia empírica não permita avaliar a política pública instituída por meio do Decreto 6.321/2007, a análise das regularidades empíricas em torno do relacionamento entre PIB *per capita* e a emissão de CO₂, tal como ilustrado pela CKA, permite explorar algumas primeiras correlações envolvendo os efeitos da política no relacionamento entre crescimento econômico e meio ambiente na Amazônia Legal. No que tange ao desmatamento, por exemplo, resultados pioneiros de Assunção *et al.* (2019) afirmam que a restrição de acesso a crédito nos municípios da “lista negra” a partir de 2008 reduziu da taxa de desmatamento.

1.1 OBJETIVOS

A presente seção detalha os objetivos da pesquisa.

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o formato da curva de Kuznets ambiental entre os municípios da Amazônia Legal dentro e fora da “lista negra” estabelecida pelo Decreto 6.321/2007.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos, citam-se:

- I. Revisar a literatura que versa sobre a relação entre crescimento econômico e meio ambiente sob a ótica da curva de Kuznets ambiental.
- II. Realizar um levantamento e tratamento de dados de renda *per capita* e emissão de gases do efeito estufa na Amazônia Legal.
- III. Estimar, por meio de mínimos quadrados ordinários, as curvas de Kuznets Ambientais dos municípios da Amazônia legal em 2005, 2010, 2015 e 2020

1.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, uma vez que se propõe a gerar conhecimentos com vistas a atender a problemas concretos relacionados à sustentabilidade ambiental e ao desenvolvimento socioeconômico na Amazônia Legal. De acordo com Lakatos e Marconi (2010), a pesquisa aplicada visa contribuir diretamente para a solução de questões práticas, e neste caso, busca-se compreender as relações entre crescimento econômico e emissões de CO₂ nos municípios da Amazônia Legal, considerando o impacto das políticas públicas estabelecidas no período analisado.

Quanto ao nível de complexidade, a pesquisa é predominantemente descritiva, pois tem como objetivo principal identificar, caracterizar e analisar as regularidades empíricas em torno do relacionamento entre PIB per capita e emissões de CO₂ nos municípios estudados. Segundo Gil (2008), pesquisas descritivas são fundamentais para o reconhecimento das características de um determinado fenômeno e a identificação de possíveis padrões ou tendências, especialmente quando associadas a variáveis socioeconômicas e ambientais.

No que diz respeito ao método de abordagem, este estudo adota predominantemente o método indutivo, conforme delineado por Lakatos e Marconi (2010). O método indutivo é

adequado quando o pesquisador parte de observações específicas e empíricas para identificar regularidades gerais ou padrões. No caso deste trabalho, a análise baseia-se em dados de cortes transversais de quatro anos distintos (2005, 2010, 2015 e 2020) para identificar a existência de possíveis padrões no formato da Curva de Kuznets Ambiental (CKA) e suas variações entre municípios dentro e fora da "lista negra".

Trata-se também de uma pesquisa quantitativa, uma vez que utiliza ferramentas estatísticas e econométricas para a análise dos dados. A abordagem quantitativa permite mensurar de forma objetiva as relações entre variáveis, como o PIB per capita e as emissões de CO₂, além de testar diferentes formas funcionais da CKA, conforme destacado por Gil (2008). Este rigor quantitativo é essencial para validar as hipóteses propostas e garantir a robustez das inferências obtidas.

Portanto, a pesquisa aqui delineada combina os aspectos práticos e teóricos da investigação científica para oferecer uma análise detalhada e sistemática da relação entre crescimento econômico e meio ambiente, com foco nos municípios da Amazônia Legal. Sua natureza aplicada, descritiva, indutiva e quantitativa reflete um esforço metodológico consistente para responder às perguntas de pesquisa propostas, contribuindo para a literatura sobre a Curva de Kuznets Ambiental e a sustentabilidade na região.

No que tange às formas de operacionalização do estudo, o primeiro passo envolveu uma pesquisa bibliográfica realizada na área de economia do meio ambiente, mais especificamente na literatura de crescimento econômico e meio ambiente. Foram utilizados buscadores convencionais na internet, como *Google Scholar*, *JSTOR*, *SCIELO* e *SCOPUS* para a busca de termos chaves envolvendo “Curva de Kuznets Ambiental” e “Amazônia Legal”. Os artigos científicos foram separados e fichados apenas aqueles com correlação direta com o presente problema de pesquisa.

Num segundo momento, foi realizado um levantamento de dados secundários em fontes oficiais para montagem da base de dados dos municípios da Amazônia Legal. Esse procedimento de levantamento de dados secundários, que será detalhado na seção de Procedimentos Metodológicos, seguiu práticas transparentes que garantem a replicabilidade.

1.3 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA

Esta monografia contará primeiro com uma revisão de literatura, no primeiro momento será analisado o surgimento da curva de Kuznets no artigo de Grossman e Krueger em 1991, após isso uma análise da evolução da Curva de Kuznets na literatura, depois a utilização da CKA para o Brasil e por fim a Amazônia legal e a lista de municípios prioritários.

Após a revisão de literatura será apresentado como foi feita a coleta e tratamento dos dados utilizados nas regressões. Depois são apresentados os resultados das regressões e as diferenças e entre os municípios que se encontram dentro e fora da lista de municípios prioritários e todos os municípios da Amazônia Legal.

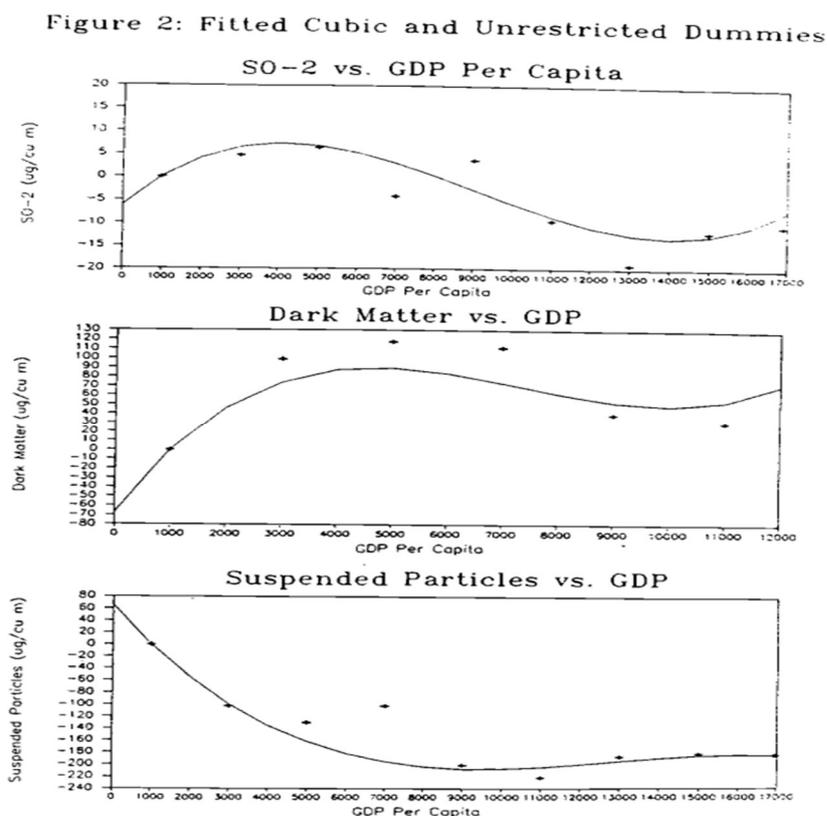
Por fim na conclusão retomamos aos objetivos propostos para este trabalho e como estes foram abordados pela monografia e incluímos sugestões de análises para trabalhos futuros e o que faltou ser feito neste trabalho.

2 LITERATURA RELACIONADA

O presente capítulo tangencia a literatura empírica relacionada a CKA. Seu objetivo não é esgotar todos os trabalhos existentes, mas sim, num primeiro momento, trabalhar os fundamentos que governam esse relacionamento empírico, tal como discutido na literatura econômica. A seção também apresenta os resultados de alguns trabalhos encontrados que versam sobre a CKA na Amazonia Legal.

A CKA foi inicialmente observada por Grossman e Krueger (1991), ao analisarem os impactos ambientais do Acordo de Livre Comércio da América do Norte (NAFTA). A curva sugere que as emissões per capita de poluentes atmosféricos aumentam com a elevação da renda *per capita*, atingem um ponto máximo, e posteriormente diminuem, formando um padrão de U invertido. Desde então, a CKA tem sido estudada em diversos contextos, envolvendo diferentes poluentes, como dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NO₂) e dióxido de carbono (CO₂), bem como distintas metodologias que abrangem dados em painel, séries temporais e cortes transversais (SHAFIK, 1994; STERN, 2017).

Figura 1 – Relacionamentos empíricos examinados em Grossman e Krueger (1991)



Fonte: Grossman & Krueger (1992)

Desde então, diversos estudos empíricos têm explorado a validade da CKA em diferentes contextos. Por exemplo, Holtz-Eakin e Selden (1995) analisaram a relação entre crescimento econômico e emissões globais de dióxido de carbono (CO₂) usando dados de painel de vários países, destacando a existência de um formato de U invertido, mas com significativas variações regionais. Grossman e Krueger (1995) também investigaram o impacto de diferentes níveis de desenvolvimento econômico na qualidade do ar, como dióxido de enxofre (SO₂), utilizando dados do projeto *Global Environmental Monitoring System* (GEMS). O estudo de Dinda (2004) revisou a literatura sobre a CKA, enfatizando como a metodologia e a escolha dos poluentes afetam os resultados obtidos.

Estudos mais recentes têm ampliado o alcance da CKA ao incluir novos poluentes e metodologias. Apergis e Ozturk (2015) investigaram a relação entre crescimento econômico, consumo de energia renovável e emissões de CO₂ em países emergentes, utilizando dados de painel com modelagem de efeitos dinâmicos. Seus resultados reforçam a hipótese da CKA, mas também sugerem que a transição para fontes renováveis pode acelerar a inversão do U invertido. Além disso, trabalhos como o de Song *et al.* (2018) analisaram o impacto das diferenças institucionais e regulatórias entre países, mostrando que o ponto de inflexão da CKA é influenciado por fatores como governança e políticas ambientais.

Outra vertente recente na literatura explora a interação da CKA com a globalização e as mudanças climáticas. Wang *et al.* (2021) investigaram os impactos do comércio internacional sobre a CKA em países em desenvolvimento, observando que o comércio pode tanto exacerbar quanto mitigar os efeitos ambientais, dependendo das políticas locais. Por sua vez, Balsalobre-Lorente *et al.* (2022) analisaram a relação entre crescimento econômico, inovação tecnológica e emissões de carbono em países europeus, destacando como avanços tecnológicos desempenham um papel central na redução de emissões em economias maduras. Esses estudos modernos demonstram a relevância contínua da CKA em debates sobre sustentabilidade global.

Em diversos estudos, uma explicação comum para o formato da CKA está relacionada às preferências das pessoas por maior qualidade ambiental e regulação à medida que a renda aumenta. Conforme os países se desenvolvem e atingem níveis mais elevados de renda per capita, os cidadãos tendem a priorizar questões ambientais em detrimento do crescimento econômico desenfreado. Essa mudança nas preferências é frequentemente refletida em políticas públicas mais rigorosas, como padrões de emissão mais restritivos, maior fiscalização ambiental e incentivos à inovação tecnológica limpa. Assim, argumenta-se que o ponto de

inflexão da CKA ocorre quando uma sociedade alcança um nível de prosperidade em que a demanda por qualidade ambiental supera a necessidade de expansão econômica.

Essa explicação subjetiva foi bastante criticada por autores como Dasgupta (1993), que argumenta que interpretar a qualidade ambiental como um bem de luxo ignora a realidade das populações vulneráveis nos países em desenvolvimento. Ele aponta que tratar a conservação ambiental como algo acessível apenas após o alcance de altos níveis de renda per capita perpetua desigualdades globais. Além disso, essa abordagem negligencia o papel da pobreza na degradação ambiental, uma vez que populações mais pobres frequentemente dependem de recursos naturais para subsistência, agravando problemas como desmatamento e poluição. Para Dasgupta, políticas ambientais eficazes devem ser integradas ao desenvolvimento econômico desde as etapas iniciais, garantindo que a sustentabilidade ambiental não seja um privilégio exclusivo de economias maduras.

Essa explicação subjetiva contrasta com o fundamento teórico-formal da CKA. Do ponto de vista formal, os principais mecanismos que explicam o formato da CKA são os efeitos de escala, composição e técnica. O efeito escala reflete que o aumento da atividade econômica eleva as emissões devido ao uso intensivo de insumos e energia. O efeito composição sugere que mudanças estruturais na economia, como a transição de setores agrícolas para industriais e, posteriormente, para serviços, influenciam as emissões. Finalmente, o efeito técnica implica que o desenvolvimento econômico pode levar à adoção de tecnologias mais limpas e à implementação de regulações ambientais mais rigorosas, reduzindo o impacto ambiental por unidade produzida (GROSSMAN, KRUEGER, 1992). Apesar dessa clareza teórico-formal, pouco avanço foi feito na literatura empírica para examinar os fundamentos que governam o eventual formato de U invertido.

A CKA não está isenta de críticas. Nem todas as emissões seguem um padrão de queda após o ponto crítico esperado com o desenvolvimento, poluição urbana e dióxido de carbono crescem monotonamente com renda per capita (SHAFIK, 1994). Embora outros poluentes como Dióxido de enxofre (SO₂) e óxidos de nitrogênio (NO₂) sejam substituídos devido a regulações mais fortes quando países se desenvolvem.

Outro ponto é que a utilização de renda média como variável é problemática pois ela não considera concentração de renda, os estudos realizados pelo Banco mundial (1992) previam que com o nível de renda média dos países deveríamos ver uma diminuição da poluição, porém dada a concentração de renda dos países em desenvolvimento o ponto crítico não se daria em um momento de PIB per capita e sim em um nível de PIB mediano da população sendo assim uma variável mais adequada para o cálculo da curva de Kuznets seria a renda mediana e,

quando esta é utilizada o ponto crítico de renda para a inversão da curva é maior que o previamente estimado. (SELDEN, SONG, 1994)

Embora seja o método mais dominante dos economistas para estimar impacto ambiental e poluição, o seu uso não é restrito apenas a modelagem clássica. E os críticos apontam que embora o crescimento econômico frequentemente leve a um declínio do impacto ambiental relativo à produtividade, não existe um consenso no motivo deste declínio.

2.1 EVIDÊNCIAS PARA AMAZÔNIA LEGAL

A partir de uma pesquisa bibliográfica, foi possível identificar alguns estudos empíricos que analisaram a CKA no contexto da Amazônia Legal. A Tabela 1 apresenta esses estudos classificando-os por autor(a) e ano, período analisado, método econométrico utilizado, formato empírico encontrado.

Um dos primeiros estudos foi o de Santos *et al.* (2008) que aborda a Curva de Kuznets Ambiental para a Amazônia Legal, utilizando o PIB *per capita* e a área desmatada em hectares o estudo analisa os dados de 2000 à 2004 e chega a conclusão que há evidências a favor do formato N da curva de Kuznets, porém as estimativas apresentam um poder de explicação limitado.

Outro estudo foi a tese de mestrado de Rejeane Corrêa de Oliveira (2009) que estuda a possibilidade de utilizar a CKA para a região da Amazônia Legal, dividindo a Amazônia legal em macrozonas e estados, este estudo chega na conclusão que para o todo da Amazônia legal o modelo que mais se adequa é o de N invertido, já nas macrozonas não é verificada a CKA em nenhuma de suas formas e nos modelos estaduais apenas o Mato Grosso e o Pará apresentam CKA nas suas formas de “U” invertido e “U” respectivamente. No restante dos estados não é verificada a CKA.

Também há um estudo que debate os temas de políticas de meio-ambiente, Souza O.T. (2014) que aborda o programa bolsa floresta no estado do Amazonas. Utilizando PIB *per capita* e desmatamento, este trabalho resultou em uma CKA em formato de U onde em um primeiro momento o desmatamento cai proporcional ao aumento do PIB e após há um ponto de inversão onde este passa a subir novamente, o que iria contra os modelos previstos até o momento de CKA. No trabalho é levantada a hipótese de CKA ter o formato esperado de N que é previsto na literatura, porém não foram realizados testes desta hipótese no trabalho.

Tabela 1 – Classificação literatura empírica que versa sobre a CKA nos municípios da Amazônia Legal.

Estudo	Período	Método econométrico	Formato empírico
Oliveira <i>et al.</i> (2011)	1985-2009	Dados em painel	U-invertido
Santos <i>et al.</i> (2008)	2000-2004	Dados em painel	N
Oliveira, R. C. (2009)	2001-2006	Dados em painel	U-invertido, U
Souza, O. T. (2014)	2008	Cross section	U invertido

Fonte: Múltiplas fontes.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho busca analisar o comportamento do crescimento econômico e degradação ambiental da Amazônia-legal e identificar as diferenças entre os municípios que a política de monitoramento do desmatamento abrange utilizando a CKA como ferramenta de análise. Em especial, busca-se testar se o formato empírico da curva é o clássico U invertido, ou o formato de N . Utiliza-se a emissão de CO_2 *per capita* como variável representativa da degradação ambiental e o PIB *per capita* para crescimento econômico. Foram coletados os dados de todos os municípios que fazem parte da Amazônia Legal (772 municípios) nos anos 2005, 2010, 2015 e 2020. Dentro destes municípios foram identificados 70 municípios que em algum momento fizeram parte da “lista negra” identificada pela resolução 3545 que restringe a concessão de crédito rural de acordo com o nível de desmatamento dos municípios da Amazonia Legal. E por último os municípios que nunca estiveram na “lista negra”.

A resolução 3545, que fez a concessão de crédito rural subsidiado acessível com provas de adesão as políticas ambientais e de loteamento de terra, sendo assim, impondo uma restrição de crédito rural para as entidades que não cumprem com as normas ambientais estabelecidas. Na literatura brasileira existem estudos do impacto que esta política tem no controle do desmatamento. Assunção, *et al.* (2019) estuda o Impacto que a política de crédito rural baseado no desmatamento dos municípios da Amazônia legal registrou, utilizando municípios fora da Amazônia legal dentro de 100km da fronteira como grupo de controle, visto que a resolução apenas é aplicada nos municípios da Amazônia legal. Análise de 2003 até 2011 anual utilizando imagens de satélite publicadas pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisa Espacial) do projeto PRODES (Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite). As estimativas do trabalho indicam uma redução de 60% do desmatamento devido a política adotada para restrição de crédito.

Para a análise dos dados foi utilizado o estimador dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), utilizando o software GRETL. Para cada ano foram divididos os municípios em três grupos, um grupo de controle com todos os municípios, um grupo com os municípios que em algum momento estiveram na lista de municípios prioritários (“lista negra”) e um grupo com aqueles que nunca estiveram na lista de municípios prioritários.

Foram estimados quatro conjuntos de equações para cada ano, divididas em categorias de acordo com os seus regressores: especificação quadrática, especificação quadrática com o controle da distância do município para a capital estadual, especificação cúbica e especificação cúbica com o controle da distância do município para a capital estadual. No processo de

construção da base de dados foi difícil encontrar outras variáveis de controle que possuem compatibilidade temporal para todos os municípios da Amazônia Legal. As regressões, portanto, foram as seguintes:

$$\ln CO_2pc = \beta_0 + \beta_1 \ln PIBpc + \beta_2 \ln(PIBpc)^2 + u_i, \quad (1)$$

$$\ln CO_2pc = \beta_0 + \beta_1 \ln PIBpc + \beta_2 \ln(PIBpc)^2 + \text{distância} + u_i, \quad (2)$$

$$\ln CO_2pc = \beta_0 + \beta_1 \ln PIBpc + \beta_2 \ln(PIBpc)^2 + \beta_3 \ln(PIBpc)^3 + u_i, \quad (3)$$

$$\ln CO_2pc = \beta_0 + \beta_1 \ln PIBpc + \beta_2 \ln(PIBpc)^2 + \beta_3 \ln(PIBpc)^3 + \text{distância} + u_i. \quad (4)$$

Todas as regressões foram realizadas na especificação log-log para obter diretamente as elasticidades governando o relacionamento entre *PIBpc* e *CO2*. A especificação *log-log* também ajuda a reduzir a variância inflada que pode surgir da heterocedasticidade dos modelos. Nesse sentido, para cada uma das 24 regressões (4 especificações, 4 cortes transversais e 3 conjuntos de municípios) foram realizados pré-testes relacionados às hipóteses básicas do MQO, sendo eles um teste de normalidade (Jarque-Bera), um teste de Heterocedasticidade de White e um teste de multiplicadores de Lagrange, LM, para a detecção de autocorrelação serial (GUJARATI, PORTER, 2011). Ambos os testes foram implementados utilizando o procedimento automatizado do GRET. Embora, em geral, cada modelo apresente resíduos distribuídos normalmente, a maioria apresenta características associadas à heterocedasticidade e autocorrelação. Quando esse for o caso, Gujarati e Porter (2011) recomendam que os modelos sejam estimados utilizando algum procedimento robusto de ajuste das variâncias. No presente contexto, utilizamos erros robustos de Newey-West, que tendem a produzir erros padrões mais conservadores (relativamente maiores do que na sua ausência). Visando comparação e robustez, todos os modelos foram reestimados com erros clusterizados por estado.

A opção por utilizar erros clusterizados por estado justifica-se pela estrutura hierárquica e pela possível dependência espacial e institucional inerente aos dados analisados. Em estudos que envolvem municípios, especialmente no contexto de uma região como a Amazônia Legal, há razões teóricas e práticas para considerar que os erros possam estar correlacionados dentro de estados. Primeiramente, os estados compartilham políticas públicas, estruturas institucionais e condições socioeconômicas que podem influenciar de forma homogênea os municípios sob sua jurisdição. Fatores como a aplicação de legislações estaduais, estratégias de fiscalização ambiental e incentivos econômicos podem introduzir dependências não capturadas, violando as premissas de independência dos resíduos entre observações municipais.

A clusterização por estado considera que as observações dentro de cada cluster (estado) podem estar correlacionadas, ajustando as variâncias de maneira mais robusta a essa dependência intracluster. Wooldridge (2010) destaca que a clusterização é especialmente útil em situações em que as dependências intracluster podem levar à subestimação dos erros padrão, comprometendo a validade das inferências estatísticas. Os erros robustos de Newey-West e a clusterização foram estimados para comparação. Assim, ao todo, foram estimadas 48 regressões no formato (1)-(4).

3.1 AMOSTRA, COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS

Os municípios da Amazônia Legal são determinados pela Lei complementar nº 124 de 3 de janeiro de 2007 e os dados sobre os municípios como PIB, população e Distância até a capital Estadual foram coletados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A Amazônia legal é composta por 772 municípios, depois de coletados os dados destes municípios foram removidos aqueles que não continham toda a informação necessária para a análise, após a coleta destes dados foram filtrados os municípios que em algum momento foram colocados na lista de municípios prioritários prevista pela resolução 3545 mesmo que estes já tenham sido retirados da lista de municípios prioritários, foi escolhido o ano de 2021 pois o período estudado neste trabalho se encerra em 2020.

A variável escolhida para representar a degradação ambiental foi o dióxido de carbono equivalente, que representa o equivalente em CO₂ emitido por todos os gases do efeito estufa, os dados da emissão foram obtidos a partir das estimativas do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases do Efeito Estufa (SEEG), que são geradas segundo as diretrizes do Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas (IPCC). A partir dos dados do SEEG foram filtrados os municípios da Amazônia Legal e os anos de análise relevantes. Foi escolhido omitir as remoções de gases do efeito estufa por necessidade de utilizar estes dados em forma logarítmica que não aceitaria emissões negativas.

A variável escolhida para representar o crescimento econômico foi o PIB *per capita* dos municípios, o PIB foi disponibilizado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), que utilizam como fonte o IBGE, os dados foram deflacionados utilizando o ano base de 2002 em reais (R\$) A distância entre os municípios e suas capitais estaduais são disponibilizadas pelo IBGE.

É importante ressaltar que os dados *per capita* são calculados utilizando a população dos municípios que são medidas de duas formas: Utilizando o Censo que ocorre a cada 10 anos e as estimativas calculadas pelo IBGE nos demais anos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta a análise e a discussão dos resultados das regressões que testam a aderência empírica da CKAs para os anos de 2005, 2010, 2015 e 2020, divididos em: Todos os municípios da Amazônia Legal, os municípios que nunca apareceram na lista de municípios prioritários e os municípios que em algum momento estavam na “lista negra” e, portanto, tiveram o seu acesso a linhas de crédito cortados.

Para escolher o tipo de erro que vamos utilizar entre erros robustos ou agrupados por estado, analisamos os resultados observando a incidência da significância estatística das variáveis explicativas nas Tabelas A1 a A11 (Apêndice). Assim, escolhemos os erros robustos para as nossas regressões. Após isso iremos analisar os resultados entre as 4 equações apresentadas acima para descobrir qual delas melhor representa o comportamento aproximado entre emissão de CO₂ per capita e PIB per capita dos municípios estudados. Utilizando novamente a incidência da significância das variáveis explicativas verifica-se que para a análise de todos os casos estudados neste trabalho a melhor equação para a representação das Curvas de Kuznets é o formato quadrático com controle da distância da capital.

Baseado nos dados do Apêndice, as Equações (5), (6) e (7) apresentam os resultados de 2005 (pré-intervenção política) para a amostra completa de municípios (Todos), os municípios fora da lista e dentro da “lista negra”, respectivamente.

Todos:

$$\ln CO_2pc = 27,625(\pm 3,530) + 0,974(\pm 0,838) \ln PIBpc - 0,045(\pm 0,049) \ln(PIBpc)^2 + 0,0003(\pm 0,0002) \text{distância} + u_i \quad (5)$$

Fora da lista:

$$\ln CO_2pc = 23,495(\pm 4,105) + 1,969(\pm 0,981) \ln PIBpc - 0,105(\pm 0,058) \ln(PIBpc)^2 + 0,0004(\pm 0,0002) \text{distância} + u_i, \quad (6)$$

“Lista negra”:

$$\ln CO_2pc = 53,768(\pm 11,327) - 5,952(\pm 2,586) \ln PIBpc + 0,392(\pm 0,392) \ln(PIBpc)^2 + 0,001(\pm 0,0004) \text{distância} + u_i. \quad (7)$$

Baseado nesses resultados podemos afirmar que os modelos apresentam diferenças significativas, principalmente quando comparamos as equações (3) e (4) à (5). O modelo de todos os municípios apresenta um β_0 de 27,625, um β_1 de 0,974 e um β_2 de -0,045, indicando uma relação esperada da curva de Kuznets entre emissões e crescimento econômico. O modelo dos municípios fora da lista apresenta um β_0 de 23,495, um β_1 maior de 1,969 e β_2 de (-0,105), sugerindo uma concavidade mais acentuada. Já o modelo dos municípios da Lista de

municípios prioritários possui o β_0 muito maior 53,768, β_1 negativo de -5,952 e β_2 positivo de 0,392, o que representa uma inversão do esperado de “U” invertido típico da Curva de Kuznets ambiental para um formato de “U”, onde as emissões inicialmente diminuem e depois aumentam com o crescimento do PIB o que contradiz o esperado teoricamente. Além disso, os erros padrão são maiores neste modelo que sugere que o modelo normal da curva de Kuznets talvez não seja adequado para os dados coletados em 2005.

A inversão do formato esperado da Curva de Kuznets Ambiental (CKA) nos municípios da "lista negra" em 2005, resultando em um formato de "U" ao invés do "U invertido" típico, pode ser explicada por características estruturais específicas desses municípios. Primeiramente, muitos dos municípios da lista prioritária são marcados por práticas intensivas de desmatamento e atividades econômicas que dependem fortemente de recursos naturais, como pecuária extensiva e extração de madeira, que possuem impactos ambientais desproporcionais. Nessas economias, o crescimento inicial pode ter sido acompanhado por uma redução temporária nas emissões devido à exaustão de recursos ou a flutuações econômicas locais, mas o retorno subsequente a práticas insustentáveis e a ausência de regulação efetiva podem ter gerado o aumento das emissões. Além disso, o β_1 negativo e o β_2 positivo sugerem que o padrão de desenvolvimento desses municípios não segue o esperado na teoria da CKA, onde economias deveriam transitar de setores intensivos em emissões para atividades mais limpas com o aumento da renda. Este padrão pode ser atribuído à ausência de infraestrutura adequada, baixa governança ambiental e a dependência econômica de atividades de alto impacto, indicando que o modelo tradicional da CKA pode não capturar adequadamente as dinâmicas econômicas e ambientais específicas dessas regiões em 2005. Por fim, os erros padrão elevados reforçam a hipótese de que fatores não observados, como diferenças institucionais e sociais, contribuem para as inconsistências observadas, sugerindo a necessidade de adaptações teóricas e metodológicas ao modelo aplicado a esses dados.

Os resultados observados para os municípios da "lista negra" em 2005 divergem de padrões previamente identificados na literatura para a Amazônia Legal. Estudos como o de Santos *et al.* (2008) e Oliveira *et al.* (2011) reportam a predominância do formato de "U invertido" ao analisar a relação entre crescimento econômico e emissões de CO₂ em cortes transversais para a Amazônia, embora com variações em função de contextos regionais e metodológicos.

Por outro lado, Oliveira (2010) destaca que o formato da CKA pode ser sensível a fatores como o tipo de uso do solo e a intensidade das atividades extrativistas, características proeminentes nos municípios prioritários. Para esses municípios, o crescimento econômico

pode estar inicialmente associado à redução das emissões devido à exaustão temporária de recursos ou flutuações econômicas locais. Porém, sem a presença de regulação ambiental efetiva, o retorno a práticas insustentáveis, como desmatamento e expansão da pecuária extensiva, pode explicar o aumento das emissões nos níveis mais altos de renda, configurando o formato de "U" observado.

Adicionalmente, Souza e Souza (2014) discutem como a governança ambiental e o nível de dependência de recursos naturais influenciam a dinâmica das emissões. Os municípios fora da "lista negra", com β_1 maior e β_2 mais negativo, sugerem uma transição mais acelerada para setores econômicos de menor impacto ambiental. Por outro lado, os altos erros padrão e o β_1 negativo nos municípios da "lista" reforçam a hipótese de que o modelo tradicional da CKA pode não capturar adequadamente as dinâmicas econômicas e ambientais locais antes da implementação do Decreto 6.321/2007.

As Equações (8), (9) e (10) resumem os resultados para o ano de 2010, cinco anos após a intervenção da política pública. Os resultados de 2010 apresentam semelhanças notáveis com os de 2005, período anterior à implementação da política de controle do desmatamento, destacando padrões consistentes entre os municípios analisados. O modelo que considera todos os municípios em 2010 mantém o padrão esperado de uma Curva de Kuznets Ambiental (CKA), com coeficientes β_0 de 14,501, β_1 de 4,004 e β_2 de -0,221, indicando uma relação onde as emissões aumentam inicialmente, atingem um pico e posteriormente diminuem à medida que o PIB per capita cresce. Para os municípios fora da lista de prioritários, os coeficientes β_0 de 11,015, β_1 de 4,826 e β_2 de -0,105 refletem uma concavidade menos acentuada, mas ainda consistente com a forma esperada da CKA. Entretanto, o modelo dos municípios que integraram a lista de prioritários em 2010 novamente exibe um padrão semelhante ao observado em 2005, com um β_0 elevado de 70,965, β_1 negativo de -9,866 e β_2 positivo de 0,611. Esse comportamento reflete uma inversão do "U invertido" típico da CKA para um formato de "U", onde as emissões diminuem inicialmente e depois aumentam com o crescimento do PIB. Essas semelhanças entre os resultados de 2005 e 2010 sugerem que os municípios da lista ainda enfrentavam desafios estruturais e institucionais que continuavam a distorcer a relação esperada entre crescimento econômico e emissões, mesmo após a intervenção política.

Todos

$$\ln CO_2pc = 14,501(\pm 4,890) + 4,004(\pm 1,159) \ln PIBpc - 0,221(\pm 0,0002) \ln(PIBpc)^2 + 0,0003(\pm 0,0002)distância + u_i(8)$$

Fora

$$\ln CO_2pc = 11,015(\pm 5,042) + 4,826(\pm 1,192) \ln PIBpc - 0,105(\pm 0,058) \ln(PIBpc)^2 + 0,0004(\pm 0,0002)distância + u_i(9)$$

Lista

$$\ln CO_2pc = 70,965(\pm 26,594) - 9,866(\pm 6,166) \ln PIBpc + 0,611(\pm 0,358) \ln(PIBpc)^2 + 0,001(\pm 0,0004)distância + u_i(10)$$

Com base nos resultados detalhados no Apêndice, as Equações (10), (11) e (12) apresentam os resultados para 2015. Em relação aos anos anteriores, os resultados de 2015 apresentam variações na concavidade da relação entre emissões e PIB per capita, destacando mudanças sutis entre os grupos analisados. Para o modelo de todos os municípios, a concavidade em 2015 é mais acentuada do que em 2010, sugerindo um padrão mais nítido da CKA, onde as emissões seguem o formato típico de "U invertido". Comparativamente, os municípios fora da lista de prioritários continuam apresentando uma concavidade menos pronunciada em 2015, refletindo um crescimento de emissões mais moderado em relação ao PIB *per capita*, um padrão consistente com os anos anteriores, mas levemente mais suave.

Os municípios que integraram a lista de prioritários novamente exibem uma inversão marcante do "U invertido" esperado, formando um "U" com uma concavidade semelhante à observada em 2005 e 2010. Essa inversão continua a refletir dinâmicas estruturais e econômicas que diferenciam esses municípios dos demais, com um padrão no qual as emissões inicialmente caem, mas aumentam de maneira expressiva com o crescimento do PIB *per capita*. A concavidade desse grupo em 2015 é ligeiramente menos extrema do que em 2010, mas ainda significativamente distinta dos padrões típicos da CKA. Isso reforça a ideia de que os municípios da "lista negra" enfrentam dificuldades estruturais persistentes que moldam de maneira única a relação entre crescimento econômico e emissões ao longo do tempo.

2015

Todos

$$\ln CO_2pc = 25,440(\pm 5,098) + 1,360(\pm 1,156) \ln PIBpc - 0,986(\pm 0,065) \ln(PIBpc)^2 + 0,0004(0,0002)distância + u_i(11)$$

Fora

$$\ln CO_2pc = 19,180(\pm 5,636) + 2,794(\pm 1,286) \ln PIBpc - 0,145(\pm 0,073) \ln(PIBpc)^2 + 0,0005(\pm 0,0002)distância + u_i(12)$$

Lista

$$\ln CO_2pc = 64,771(\pm 18,753) - 8,115(\pm 4,128) \ln PIBpc + 0,489(\pm 0,225) \ln(PIBpc)^2 + 0,001(\pm 0,0004)distância + u_i(13)$$

As estimativas para o ano de 2020 oferecem uma perspectiva comparativa interessante em relação aos padrões observados ao longo da amostra, especialmente ao refletir dinâmicas semelhantes às do período pré-intervenção. O modelo de todos os municípios confirma a relação esperada da Curva de Kuznets Ambiental (CKA), com uma concavidade moderada que reflete o típico "U invertido", onde as emissões aumentam inicialmente, atingem um pico e declinam à medida que o PIB cresce. Esse padrão permanece consistente com os resultados gerais observados em anos anteriores.

Nos municípios fora da lista de prioritários, a concavidade é mais acentuada em 2020 do que nos anos anteriores, destacando um crescimento menos pronunciado das emissões em relação ao PIB. Esse comportamento sugere que esses municípios continuaram a transitar em direção a atividades econômicas menos intensivas em emissões, reforçando a hipótese de que fatores estruturais, como maior diversificação econômica e menor dependência de atividades extrativistas, desempenharam um papel central na relação emissões-crescimento.

Por outro lado, os municípios da "black list" novamente exibem um padrão distinto, com uma inversão do "U invertido" para um formato de "U". Essa característica indica que, mesmo no ano final da amostra, a relação entre emissões e PIB nesses municípios ainda não se ajustou ao comportamento esperado pela CKA. A concavidade nesse grupo é menos extrema do que em anos anteriores, sugerindo algum progresso, mas os coeficientes continuam a refletir uma dinâmica em que as emissões diminuem inicialmente e voltam a crescer de forma significativa com o aumento do PIB. Além disso, os elevados erros padrão nesse modelo reforçam a persistência de instabilidades e fatores não observados, como desigualdades institucionais ou sociais, que dificultam a conformidade com o formato típico da CKA.

2020

Todos

$$\ln CO_2pc = 23,295(\pm 4,116) + 1,723(\pm 0,909) \ln PIBpc - 0,078(\pm 0,0002) \ln(PIBpc)^2 + 0,0003(0,0002)distância + u_i(12)$$

Fora

$$\ln CO_2pc = 17,864(\pm 4,033) + 2,941(0,892) \ln PIBpc - 0,146(\pm 0,049) \ln(PIBpc)^2 + 0,0005(\pm 0,0002) \text{dist\~{a}ncia} + u_i(13)$$

Lista

$$\ln CO_2pc = 55,202(\pm 12,754) - 5,781(\pm 2,705) \ln PIBpc + 0,345(\pm 0,141) \ln(PIBpc)^2 + 0,0009(\pm 0,0004) \text{dist\~{a}ncia} + u_i(14)$$

As Tabelas 2, 3, e 4 abaixo sintetizam melhor os resultados ao longo do tempo, oferecendo uma perspectiva comparativa interessante para cada grupo de municípios. A Tabela 2 apresenta os resultados ao longo do tempo para todos os municípios da Amazônia Legal. É importante notar que, em termos de qualidade do ajuste, o R2 é relativamente baixo. O R2 ajustado relativamente baixo observado nos modelos pode ser interpretado com cautela, especialmente no contexto de dados econmicos e ambientais aplicados a regiões heterogneas como a Amazônia Legal. Embora um R2 elevado indique maior capacidade do modelo em explicar a variância da variável dependente, sua interpretação isolada não deve ser considerada um indicador absoluto da qualidade ou utilidade do modelo. Em estudos ambientais e econmicos, é comum que os R2 ajustados sejam moderados ou baixos, devido à complexidade inerente aos fenmenos analisados, que frequentemente dependem de múltiplos fatores não diretamente capturados pelas variáveis do modelo.

Tabela 2 – Estimao da CKA para todos os municípios da Amazônia Legal 2005-2020.

Variáveis explicativas	2005	2010	2015	2020
<i>constante</i>	27,625*** (3,530)	14,501*** (4,890)	25,440*** (5,098)	23,295*** (4,116)
<i>PIBpc</i>	0,9742 (0,838)	4,004*** (1,159)	1,360 (1,156)	1,723* (0,909)
<i>PIBpc^2</i>	-0,045 (0,049)	-0,221*** (0,0002)	-0,986 (0,065)	-0,078 (0,0002)
<i>Distância</i>	0,0003 (0,0002)	0,0003 (0,0002)	0,0004* (0,0002)	0,0003 (0,0002)
<i>R^2 ajustado</i>	0,017	0,028	0,020	0,041
<i>F</i>	6,627	12,735	8,595	16,692
<i>Crterio de Akaike</i>	2356,267	2343,879	2370,176	2386,012

Fonte: IBGE e SEEG.

Nota: Os erros padrões são estimados com erros robustos e aparecem entre colchetes. * significância a 10%, ** significância a 5% e *** significância a 1%. A variável dependente é o logaritmo do CO2 *per capita*.

Do ponto de vista do sinal esperado dos parâmetros da CKA, todos permanecem com o sinal esperado, embora variem de significância estatística. Para o conjunto dos municípios da Amazônia Legal apenas para o ano de 2010 o formato de U invertido estimado possui

significância estatística. Como essa amostra inclui município dentro e fora da “lista negra”, é mais provável que heterogeneidade estrutural e institucional dos mesmos contribua mais para a falta de significância estatística do que algum problema de precisão.

Tabela 3 -Municípios Fora da lista, Erros Robustos

Variáveis explicativas	2005	2010	2015	2020
<i>constante</i>	23,495*** (4,105)	11,015** (5,042)	19,180*** (5,636)	17,864*** (4,033)
<i>PIBpc</i>	1,969** (0,981)	4,826*** (1,192)	2,794** (1,286)	2,941*** (0,892)
<i>PIBpc²</i>	-0,105* (0,058)	-0,269*** (0,070)	-0,145** (0,073)	-0,146*** (0,049)
<i>Distância</i>	0,0004* (0,0002)	0,0005** (0,0002)	0,0005** (0,0002)	0,0005** (0,0002)
<i>R² ajustado</i>	0,022	0,042	0,029	0,051
<i>F</i>	7,955	15,042	10,837	18,632
<i>Critério de Akaike</i>	2134,603	2118,724	2144,071	2155,117

Fonte: IBGE e SEEG.

Nota: Os erros padrões são estimados com erros robustos e aparecem entre colchetes. * significância a 10%, ** significância a 5% e *** significância a 1%. A variável dependente é o logaritmo do CO2 *per capita*

É interessante observar o que acontece com os parâmetros e com a significância estatística quando estimamos os modelos apenas para os municípios fora da “lista negra” (Tabela 3). Todos os coeficientes permanecem com os sinais esperados da CKA, além de estatisticamente significativos aos níveis de significância usuais. A exclusão dos municípios da "lista negra" e a observação de que os coeficientes estimados permanecem com os sinais esperados da Curva de Kuznets Ambiental (CKA), além de serem estatisticamente significativos, ressaltam o papel central da heterogeneidade estrutural e dos incentivos no desmatamento na Amazônia Legal. Os municípios fora da "lista negra" geralmente apresentam características estruturais mais favoráveis, como menor dependência de atividades extrativistas intensivas em desmatamento e maior diversificação econômica. Esses fatores tendem a alinhar melhor o padrão de crescimento econômico com as expectativas teóricas da CKA, onde as emissões aumentam inicialmente com o PIB *per capita*, atingem um pico e depois declinam.

A análise da concavidade ao longo do tempo para os municípios fora da "lista negra" revela variações importantes que podem estar relacionadas às políticas públicas implementadas na Amazônia Legal. Em 2005, antes da intervenção política mais significativa, o coeficiente de PIBpc² apresenta o menor valor absoluto (-0,105*), sugerindo uma concavidade mais suave

da relação entre PIB per capita e emissões. Esse comportamento pode refletir a ausência de políticas ambientais robustas, permitindo que o crescimento econômico mantivesse uma relação menos controlada com o impacto ambiental. Em 2010, após a implementação do Decreto 6.321/2007, que intensificou a fiscalização e as restrições para municípios prioritários, a concavidade se acentua significativamente (-0,269***). Esse resultado indica que, para os municípios fora da "lista negra", o controle ambiental pode ter incentivado uma transição mais rápida para práticas econômicas menos intensivas em emissões, resultando em uma curva de "U invertido" mais nítida. Nos anos seguintes, 2015 (-0,145**) e 2020 (-0,146***), a concavidade retorna a níveis intermediários, o que pode refletir tanto uma adaptação estrutural mais consolidadas quanto possíveis efeitos de relaxamento das políticas ambientais ou mudanças nas pressões econômicas locais. Assim, a evolução da concavidade sugere que a política ambiental desempenhou um papel crucial em moldar a relação entre crescimento econômico e emissões, especialmente em 2010, mas que os efeitos de longo prazo podem depender de sua continuidade e adequação às condições locais.

Tabela 4 – Municípios da Lista, Erros Robustos

Variáveis explicativas	2005	2010	2015	2020
<i>constante</i>	53,768*** (11,327)	70,965*** (26,594)	64,771*** (18,7535)	55,202*** (12,754)
<i>PIBpc</i>	-5,952** (2,586)	-9,866 (6,166)	-8,115* (4,128)	-5,781** (2,705)
<i>PIBpc²</i>	0,392*** (0,146)	0,611* (0,358)	0,489** (0,225)	0,345** (0,141)
<i>Distância</i>	0,001** (0,0004)	0,001 (0,0004)	0,001** (0,0004)	0,0009** (0,0004)
<i>R² ajustado</i>	0,321	0,166	0,292	0,419
<i>F</i>	28,562	11,30529	16,027	38,222
<i>Critério de Akaike</i>	184,441	191,62	183,0641	170,728

Fonte: IBGE e SEEG.

Nota: Os erros padrões são estimados com erros robustos e aparecem entre colchetes. * significância a 10%, ** significância a 5% e *** significância a 1%. A variável dependente é o logaritmo do CO2 *per capita*

Ao seu turno, a Tabela 4 explicita melhor a evolução temporal da relação empírica entre PIB per capita e CO2 para os municípios da lista negra. Inicialmente, percebe-se uma elevação do R2 ajustado, o que sugere que os municípios são potencialmente mais homogêneos entre si, tanto estruturalmente quanto institucionalmente. Como destacado anteriormente, para esse conjunto de município o relacionamento teórico previsto pela CKA se inverte para um formato de U. Esse formato empírico é relativamente estável e estatisticamente significativo ao longo

do tempo. Esse resultado levanta questões importantes sobre a estrutura institucional e a base econômica desses municípios. De maneira especulativa, pode-se argumentar que esses municípios compartilham características estruturais e institucionais que os tornam mais propensos a trajetórias econômicas pró-desmatamento. A base de suas economias frequentemente depende de atividades primárias, como pecuária extensiva, extração de madeira e agricultura de fronteira, que exercem pressão direta sobre os recursos florestais. Essas atividades são altamente intensivas em uso de terra e, em muitos casos, oferecem incentivos econômicos imediatos para o desmatamento, em detrimento de alternativas mais sustentáveis.

A governança ambiental nesses municípios pode ser limitada, tanto em termos de capacidade administrativa quanto de efetividade na implementação de políticas públicas. A inclusão na "lista negra" já é, em si, um reflexo de que esses municípios apresentam altos índices de desmatamento, frequentemente associados à ausência ou ineficácia de instrumentos de fiscalização, além de possíveis lacunas em mecanismos de incentivos para sustentabilidade. Essa combinação de incentivos econômicos e fragilidades institucionais pode contribuir para a inversão da trajetória esperada pela CKA, resultando em um formato de "U" no qual as emissões inicialmente diminuem com o crescimento econômico, mas retornam a crescer à medida que a pressão sobre os recursos florestais se intensifica com a expansão econômica.

Por fim, é relevante considerar que, enquanto os municípios fora da "lista negra" podem ter se beneficiado mais diretamente das políticas de controle e incentivos à sustentabilidade, os da "lista negra" enfrentam restrições mais severas, como acesso limitado a crédito e benefícios fiscais. Paradoxalmente, embora tenham contribuído para a redução do desmatamento (ASSUNÇÃO, *ET AL.* 2019), essas restrições podem não ser suficientes para reverter estruturas econômicas profundamente enraizadas e incentivos pró-desmatamento, especialmente em contextos em que os custos de transição para atividades menos impactantes são elevados. Assim, a combinação de uma base econômica concentrada em atividades extrativas e estruturas institucionais fragilizadas pode explicar, ao menos em parte, a estabilidade do formato "U" observado ao longo do tempo nesses municípios.

Por outro lado, é crucial ressaltar que a validade empírica dos resultados depende da hipótese de exogeneidade estrita. Isso significa que as variações no PIB per capita devem ser estritamente exógenas às variações nas emissões de CO₂, ou seja, não podem ser influenciadas por fatores relacionados à emissão de CO₂ ou às políticas de controle associadas. No caso dos municípios da "lista negra", essa hipótese pode ser potencialmente violada. Como a política pública implementada restringiu o acesso ao crédito para municípios com níveis elevados de

desmatamento, é plausível que essa restrição tenha impactado diretamente o crescimento econômico local. Dessa forma, o PIB per capita nesses municípios não seria completamente independente das condições ambientais ou das intervenções políticas, criando uma possível endogeneidade no modelo. Portanto, é necessário interpretar o forma de U observado para os municípios da Amazônia Legal pertencentes à “lista negra” com cautela.

5 CONCLUSÃO

Esta monografia teve como objetivo analisar o impacto da "lista negra" de municípios prioritários, estabelecida pela Resolução 3.545 de 2007, sobre a relação entre crescimento econômico e emissões de CO₂ per capita na Amazônia Legal, utilizando a Curva de Kuznets Ambiental (CKA) como referencial teórico. A análise abrangeu quatro anos específicos: 2005 (pré-intervenção), 2010, 2015 e 2020, buscando avaliar como as dinâmicas dessa relação evoluíram ao longo do tempo.

Inicialmente, foi revisada a literatura sobre a relação entre crescimento econômico e degradação ambiental, com destaque para os principais resultados teóricos e empíricos da CKA, incluindo estudos aplicados ao Brasil e à Amazônia Legal. Com base nessa revisão, foram determinadas as variáveis adequadas à análise: o PIB per capita e as emissões de gases de efeito estufa equivalentes em CO₂ per capita.

A análise empírica envolveu a coleta e tratamento dos dados necessários para estimar as CKA, seguidos da aplicação de oito especificações estatísticas para diferentes grupos de municípios (incluindo todos os municípios, aqueles fora da "lista negra" e os da "lista negra"). Ao todo, 120 modelos foram estimados, abrangendo múltiplos anos e especificações, com o objetivo de capturar nuances importantes na relação entre crescimento econômico e emissões.

Os resultados obtidos indicam que a política de priorização de municípios teve impactos diferenciados ao longo do tempo e entre os grupos analisados. Para os municípios fora da "lista negra", observou-se um padrão mais próximo do "U invertido" esperado pela CKA, sugerindo uma transição gradual para práticas econômicas menos intensivas em emissões. Por outro lado, nos municípios da "lista negra", a relação permaneceu com um formato de "U", indicando que a base econômica e a estrutura institucional desses municípios continuam a exercer pressões pró-desmatamento, mesmo com a implementação de restrições como a limitação de crédito.

A análise deste trabalho ficou limitada devido a coleta de dados e a mudança do tema da monografia de desmatamento para CO₂ como medida de degradação ambiental, sugiro que em trabalhos futuros apenas seja feito o teste da viabilidade de utilizar o desmatamento como substituto do CO₂ *per capita*, ou que já de início a coleta de dados aborde apenas as variáveis já estudadas por outros trabalhos com o foco na Amazônia Legal. Adicionalmente, para inspecionar com mais a fundo a possibilidade de endogeneidade dos parâmetros no contexto dos municípios dentro da "lista negra" seria interessante usar um estimador de dados em painel do tipo Arellano-Bond ou alguma outra técnica de variáveis instrumentais.

REFERÊNCIAS

ASSUNÇÃO, Juliano; GANDOUR, Clarissa; ROCHA, Romero; ROCHA, Rudi. Does Credit Affect Deforestation? **São Francisco: Climate Policy Initiative**, 2013. Disponível em: https://climatepolicyinitiative.org/wpcontent/uploads/2013/01/CPI_Technical_Paper_Does_Credit_Affect_Deforestation_UPDATE_set2016.pdf. Acesso em: 13 dez. 2024.

BHATTARAI, Madhusudan. The environmental Kuznets curve for deforestation in Latin America, Africa, and Asia: macroeconomic and institutional perspectives. **Clemson: Clemson University**, 2000. Dissertation.

BARROS, Gustavo Cabral de. A Curva Ambiental de Kuznets: uma análise para os municípios brasileiros.

CARSON, Richard T. The environmental Kuznets curve: seeking empirical regularity and theoretical structure. **Review of Environmental Economics and Policy**, v. 4, n. 1, p. 3-23, 1 jan. 2010.

DASGUPTA, P. An Inquiry into Well-Being and Destitution. Oxford: **Clarendon Press**, 1993.

EWERS, Robert M.; LAURANCE, William F.; SOUZA JR, Carlos M. Temporal fluctuations in Amazonian deforestation rates.

FERNANDES, R. M. S. A política mineral do governo Bolsonaro para a Amazônia Legal: Um balanço a partir dos processos minerários ativos. **Ambientes: Revista de Geografia e Ecologia Política**, v. 4, n. 2, p. 1-22, 2022. DOI: 10.48075/amb.v4i2.29781.

GROSSMAN, G. M.; KRUEGER, A. B. Economic growth and the environment. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 110, n. 2, p. 353-377, 1 maio 1995.

GROSSMAN, G. M.; KRUEGER, A. B. Environmental impacts of a North American Free Trade Agreement. **World Development Report (WDR)**. World Bank, 1992.

GUJARATI, Damodar N.; PORTER, Dawn C. *Econometria Básica*. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

IBGE. Amazônia Legal. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15819-amazonia-legal.html>. Acesso em: 11 dez. 2024.

KAHN, J. R.; MCDONALD, J. A. Referência Kahn e McDonald 1995.

MARQUART-PYATT, S. T. Referência Marquart-Pyatt 2004.

MITIC, Petar; KRESOJA, Milena; MINOVIC, Jelena. A literature survey of the environmental Kuznets curve.

- MOREIRA, M. M. R.; FERREIRA FILHO, J. B. S.; HORRIDGE, M. Desmatamento e a contribuição econômica da floresta na Amazônia. **Estudos Econômicos**, v. 46, n. 2, p. 395-433, 2016.
- OLIVEIRA, R. C.; ALMEIDA, E.; FREGUGLIA, R. S.; BARRETO, R. C. S. Desmatamento e crescimento econômico no Brasil: uma análise da curva de Kuznets ambiental para a Amazônia legal. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 49, n. 3, 2011.
- SANTOS, Ricardo Bruno Nascimento dos; DINIZ, Marcelo Bentes; DINIZ, Marcia Juca Teixeira; RIVERO, Sergio Luiz de Medeiros; OLIVEIRA JUNIOR, Jose Nilo de. Estimativa da Curva de Kuznets Ambiental para a Amazônia Legal. 46th **Congress of SOBER**, julho de 2008, Rio Branco, Acre, Brasil.
- SOUZA, O. T.; SOUZA, A. Q. de. Curva de Kuznets Ambiental e o Programa Bolsa Floresta no Estado do Amazonas: uma aplicação da econometria espacial. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 52, n. 1, p. 95-112, 2014.
- STERN, David I. The environmental Kuznets curve after 25 years. **Journal of Bioeconomics**, v. 19, p. 7-28, 2017.
- STREZOV, Vladimir. A review on Environmental Kuznets Curve hypothesis using bibliometric and meta-analysis.
- YANDEL, Bruce; BHATTARAI, Madhusudan; VIJAYARAGHAVAN, Maya. Environmental Kuznets Curves: a review of findings, methods, and policy implications.
- APERGIS, N.; OZTURK, I. Testing Environmental Kuznets Curve Hypothesis in Asian Countries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 52, p. 680–686, 2015. DOI: 10.1016/j.rser.2015.07.082. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.082>.
- BALSALOBRE-LORENTE, D.; SHAHBAZ, M.; SINGH, R.; FAROOQ, A. The Role of Innovation in Carbon Emissions Mitigation: Evidence from European Countries. **Energy Economics**, v. 96, p. 105-120, 2022. DOI: 10.1016/j.eneco.2021.105120. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105120>.
- GROSSMAN, G. M.; KRUEGER, A. B. Economic Growth and the Environment. **Quarterly Journal of Economics**, v. 110, n. 2, p. 353–377, 1995. DOI: 10.2307/2118443. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/2118443>.
- HOLTZ-EAKIN, D.; SELDEN, T. M. Stoking the Fires? CO₂ Emissions and Economic Growth. **Journal of Public Economics**, v. 57, n. 1, p. 85–101, 1995. DOI: 10.1016/0047-2727(94)01449-X. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0047-2727\(94\)01449-X](https://doi.org/10.1016/0047-2727(94)01449-X).
- SONG, M.; FISHER, R.; WANG, J. Environmental Performance, Institutional Quality, and the Kuznets Curve Hypothesis: Evidence from Asia. **Journal of Cleaner Production**, v. 188,

p. 440–451, 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.03.285. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.285>.

WANG, Z.; ZHANG, B.; HENRY, D. The Role of Trade and Environmental Regulation in Mitigating Carbon Emissions: Evidence from Developing Countries. *Ecological Indicators*, v. 124, p. 107-115, 2021. DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.107115. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107115>.

WOOLDRIDGE, J. M. *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*. 2. ed. Cambridge: **MIT Press**, 2010.

APÊNDICE A

Tabelas

Tabela A1 – Todos os municípios, Erros Robustos 2005/2010								
Variáveis explicativas	2005				2010			
<i>constante</i>	27,625***	27,625***	-	-	13,9192***	14,501***	27,482	32,34
	(3,530)	(3,530)	(28,257)	(28,105)	(4,817)	(4,890)	(26,397)	(25,679)
<i>PIBpc</i>	1,02321	0,9742	40,306***	39,636***	4,156	4,004***	-0,571	-2,212
	(0,833)	(0,838)	(9,755)	(9,695)	(1,142)	(1,159)	(9,394)	(9,166)
<i>PIBpc²</i>	-0,0474	-0,045	-4,541***	-4,467***	-0,229	-0,221***	0,316	0,497
	(0,049)	(0,049)	(1,110)	(1,102)	(0,067)	(0,0002)	(1,109)	(1,085)
<i>PIBpc³</i>	-	-	0,170***	0,167***	-	-	-0,209	-0,027
			(0,041)	(0,041)			(0,043)	(0,043)
<i>Distância</i>	-	0,0003	-	0,0002	-	0,0003	-	0,0003*
		(0,0002)		-0,0002		(0,0002)		(0,0002)
<i>R² ajustado</i>	0,015	0,017	0,031	0,0324	0,025	0,028	0,024	0,0274
<i>F</i>	6,770	6,627	40,173	28,981	15,029	12,735	14,015	12,452
<i>Critério de Akaike</i>	2356,643	2356,267	2345,427	2345,455	2345,120	2343,879	2346,920	2345,534
<i>Critério de Schwarz</i>	2370,531	2363,400	2363,945	2354,37	2359,016	2362,407	2365,448	2354,454
<i>Nº obs</i>	757	757	757	757	759	759	759	759

Fonte: IBGE e SEEG.

Nota: Os erros padrões são estimados com erros robustos e aparecem entre colchetes. * significância a 10%, ** significância a 5% e *** significância a 1%. A variável dependente é o logaritmo do CO2 *per capita*

Tabela A2 - Todos os municípios, Erros Robustos 2015/2020

Variáveis explicativas	2015				2020			
	<i>constante</i>	24,792*** (5,011)	25,440*** (5,098)	-76,734 (51,747)	-67,728 (51,155)	23,079*** (4,030)	23,295*** (4,116)	66,634*** (25,754)
<i>PIBpc</i>	1,523 (1,136)	1,360 (1,156)	35,503** (17,301)	32,540* (17,095)	1,781** (0,888)	1,723* (0,909)	-12,298 (8,267)	-13,946* (8,226)
<i>PIBpc^2</i>	-0,073 (0,064)	-0,986 (0,065)	-3,843** (1,917)	-3,524* (1,893)	-0,08* (0,048)	-0,078 (0,0002)	1,425 (0,877)	1,597* (0,871)
<i>PIBpc^3</i>	-	-	0,139** (0,070)	0,127* (0,069)	-	-	-0,053* (0,031)	-0,059* (0,305)
<i>Distância</i>	-	0,0004* (0,0002)	-	0,0003* (0,0002)*	-	0,0003 (0,0002)	-	0,0003* (0,0002)
<i>R² ajustado</i>	0,0154	0,020	0,018	0,022	0,038	0,041	0,0392	0,042
<i>F</i>	7,664	8,595	11,031	9,726	20,463	16,692	13,911	12,891
<i>Critério de Akaike</i>	2372,863	2370,176	2371,918	2369,695	2386,895	2386,012	2387,201	2385,92
<i>Critério de Schwarz</i>	2378,214	23377,312	2379,053	2392,856	2400,791	2393,147	2405,729	2394,839
<i>Nº obs</i>	759	759	759	759	759	759	759	759

Fonte: IBGE e SEEG.

Nota: Os erros padrões são estimados com erros robustos e aparecem entre colchetes. * significância a 10%, ** significância a 5% e *** significância a 1%. A variável dependente é o logaritmo do CO2 *per capita*

Tabela A3 - Todos os municípios, Erros Agrupados por Estado 2005/2010

Variáveis explicativas	2005				2010			
<i>constante</i>	27,490*** (7,767)	27,6248*** (8,473)	-85,959 (72,335)	-84,029 (76,207)	13,919 (13,293)	14,501 (14,406)	27,482 (45,899)	32,34 (47,651)
<i>PIBpc</i>	1,023 (1,860)	0,974 (2,042)	40,306* (24,296)	39,636 (25,572)	4,156 (3,067)	4,004 (3,338)	-0,571 (15,081)	-2,212 (15,572)
<i>PIBpc²</i>	-0,474 (0,108)	-0,045 (0,118)	-4,541* (2,686)	-4,467 (2,821)	-0,230 (0,174)	-0,221 (0,189)	0,316 (1,643)	0,497 (1,685)
<i>PIBpc³</i>	-	-	0,170* (0,098)	0,167 (0,102)	-	-	-0,021 (0,060)	-0,027 (0,061)
<i>Distância</i>	-	0,0003 (0,0004)	-	0,0002 (0,0004)	-	0,0003 (0,0004)	-	0,0003 (0,0004)
<i>R² ajustado</i>	0,0154	0,017	0,0311	0,032	0,253	0,028	0,243	0,027
<i>F</i>	1,396	1,250	28,97	20,065	1,179	3,509	1,276	5,992
<i>Critério de Akaike</i>	2356,643	2356,267	2345,427	2345,455	2345,12	2343,879	2346,92	2345,534
<i>Critério de Schwarz</i>	2370,531	2374,785	2369,945	2368,602	2359,016	2362,407	2365,448	2368,694
<i>Nº obs</i>	757	757	757	757	759	759	759	759

Fonte: IBGE e SEEG.

Nota: Os erros padrões são estimados com erros robustos e aparecem entre colchetes. * significância a 10%, ** significância a 5% e *** significância a 1%. A variável dependente é o logaritmo do CO2 *per capita*

Tabela A4 - Todos os municípios, Erros Agrupados por Estado 2015/2020

Variáveis explicativas	2015				2020			
	<i>constante</i>	24,792 (15,643)	25,440 (17,083)	-76,734 (160,643)	-67,728 (170,164)	23,079* (12,272)	23,295* (13,041)	66,634 (94,857)
<i>PIBpc</i>	1,523 (3,541)	1,360 (3,870)	35,503 (52,098)	32,54 (55,118)	1,781 (2,661)	1,72 (2,831)	-12,298 (29,625)	-13,946 (30,877)
<i>PIBpc²</i>	-0,072 (0,197)	-0,064 (0,214)	-3,843 (5,589)	-3,524 (5,903)	-0,081 (0,141)	-0,078 (0,149)	1,425 (3,050)	1,597 (3,170)
<i>PIBpc³</i>	-	-	0,139 (0,198)	0,127 (0,209)	-	-	-0,053 (0,104)	-0,059 (0,107)
<i>Distância</i>	-	0,0004 (0,0004)	-	0,0004 (0,0004)	-	0,0003 (0,0003)	-	0,0003 (0,0004)
<i>R² ajustado</i>	0,0154	0,020	0,018	0,022	0,038	0,0407	0,0392	0,0421
<i>F</i>	1,438	1,330	2,608	1,856	5,239	3,410	5,222	6,259
<i>Critério de Akaike</i>	2372,863	2370,176	2371,918	2369,695	2386,895	2386,012	2387,201	2385,92
<i>Critério de Schwarz</i>	2378,214	2388,704	2390,446	2392,856	2400,791	2393,147	2405,729	2409,08
<i>Nº obs</i>	759	759	759	759	759	759	759	759

Fonte: IBGE e SEEG.

Nota: Os erros padrões são estimados com erros robustos e aparecem entre colchetes. * significância a 10%, ** significância a 5% e *** significância a 1%. A variável dependente é o logaritmo do CO2 *per capita*

Tabela A5 - Municípios Fora da Lista, Erros Robustos 2005/2010

Variáveis explicativas	2005				2010			
	<i>constante</i>	23,4552*** (4,114)	23,495*** (4,105)	- 122,315*** (30,973)	- 118,906*** (30,868)	10,510** (4,964)	11,015** (5,042)	20,477 (28,548)
<i>PIBpc</i>	2,004** (0,982)	1,969** (0,981)	52,429*** (10,689)	51,231*** (10,641)	4,967*** (1,174)	4,826*** (1,192)	1,493 (10,081)	-0,883 (9,648)
<i>PIBpc²</i>	-0,106* (0,058)	-0,105* (0,058)	-5,867*** (1,215)	-5,732*** (1,209)	- 0,276*** (0,069)	- 0,269*** (0,070)	0,125 (1,181)	0,39 (1,135)
<i>PIBpc³</i>	-	-	0,217*** (0,045)	0,2122*** (0,045)	-	-	-0,015 (0,046)	-0,025 (0,044)
<i>Distância</i>	-	0,0004* (0,0002)	-	0,0003* (0,0002)	-	0,0005** (0,0002)	-	0,0004** (0,0002)
<i>R² ajustado</i>	0,017	0,022	0,44	0,048	0,034	0,042	0,037	0,041
<i>F</i>	7,144	7,955	39,653	28,042	16,553	15,042	13,654	13,646
<i>Critério de Akaike</i>	2137,157	2134,603	2119,301	2117,597	2123,451	2118,724	2125,345	2120,437
<i>Critério de Schwarz</i>	2150,754	2152,733	2137,431	2140,259	2137,057	2136,865	2143,486	2143,113
<i>Nº obs</i>	687	687	687	687	689	689	689	689

Fonte: IBGE e SEEG.

Nota: Os erros padrões são estimados com erros robustos e aparecem entre colchetes. * significância a 10%, ** significância a 5% e *** significância a 1%. A variável dependente é o logaritmo do CO2 *per capita*

Tabela A6 - Municípios Fora da Lista, Erros Robustos 2015/2020

Variáveis explicativas	2015				2020			
<i>constante</i>	18,597*** (5,580)	19,180*** (5,636)	- 108,851** (53,943)	-96,757* (53,414)	820,171*** (25,726)	17,864*** (4,033)	44,516** (26,334)	53,597** (26,292)
<i>PIBpc</i>	2,952** (1,272)	2,794** (1,286)	45,6018** (18,018)	41,530** (17,833)	- 265,022*** (5,828)	2,941*** (0,892)	-5,667 (8,413)	-8,605 (8,379)
<i>PIBpc^2</i>	-0,154** (0,072)	-0,145** (0,073)	-4,885** (1,994)	-4,442** (1,973)	28,316*** (0,328)	-0,146*** (0,049)	0,777 (0,888)	1,088 (0,882)
<i>PIBpc^3</i>	-	-	0,174** (0,073)	0,158** (0,072)	-	-	-0,033 (0,031)	-0,0435 (0,031)
<i>Distância</i>	-	0,0005** (0,0002)	-	0,0005 (0,0002)	-	0,0005** (0,0002)	-	0,0005 (0,0002)
<i>R^2 ajustado</i>	0,186	0,029	0,023	0,33	0,999	0,051	0,043	0,0516
<i>F</i>	8,65	10,837	11,806	11,186	6554587	18,632	13,534	14,323
<i>Critério de Akaike</i>	2150,415	2144,071	2148,033	2142,433	2027,828	2155,117	2161,414	2156,04
<i>Critério de Schwarz</i>	2155,678	2162,212	2166,174	2165,11	2041,433	2173,258	2179,555	2178,713
<i>N° obs</i>	689	689	689	689	689	689	689	689

Fonte: IBGE e SEEG.

Nota: Os erros padrões são estimados com erros robustos e aparecem entre colchetes. * significância a 10%, ** significância a 5% e *** significância a 1%. A variável dependente é o logaritmo do CO2 *per capita*

Tabela A7 - Municípios Fora da Lista, Erros Agrupados por Estado 2005/2010								
Variáveis explicativas	2005				2010			
<i>constante</i>	23,455*** (8,003)	23,495*** (8,899)	-122,315* (73,562)	-118,906 (78,957)	10,51 (13,560)	11,015 (14,707)	20,477 (46,604)	27,394 (47,043)
<i>PIBpc</i>	2,004 (1,920)	1,969 (2,140)	52,4288** (24,494)	51,231* (26,286)	4,969 (3,135)	4,826 (3,396)	1,494 (15,229)	-0,883 (15,301)
<i>PIBpc²</i>	-0,106 (0,112)	-0,104 (0,124)	-5,867** (2,624)	-5,732** (2,878)	-0,276 (0,178)	-0,269 (0,192)	0,125 (1,651)	0,390 (1,651)
<i>PIBpc³</i>	-	-	0,217** (0,097)	0,212** (0,104)	-	-	-0,015 (0,060)	-0,025 (0,060)
<i>Distância</i>	-	0,0004 (0,0005)	-	0,0004 (0,0005)	-	0,0005 (0,0005)	-	0,0005 (0,0005)
<i>R² ajustado</i>	0,017	0,22	0,044	0,048	0,034	0,042	0,0324	0,041
<i>F</i>	1,727	2,162	20,267	12,990	1,464	3,009	1,733	3,559
<i>Critério de Akaike</i>	2137,157	2134,603	2119,301	2117,579	2123,451	2118,724	2125,345	2120,437
<i>Critério de Schwarz</i>	2150,754	2152,733	2137,431	2140,259	2137,057	2136,865	2143,486	2143,113
<i>N° obs</i>	687	687	687	687	689	689	689	689

Fonte: IBGE e SEEG.

Nota: Os erros padrões são estimados com erros robustos e aparecem entre colchetes. * significância a 10%, ** significância a 5% e *** significância a 1%. A variável dependente é o logaritmo do CO2 *per capita*

Tabela A8 - Municípios Fora da Lista, Erros Agrupados por Estado 2015/2020								
Variáveis explicativas	2015				2020			
<i>constante</i>	18,597 (15,865)	19,1804 (17,410)	-108,851 (168,459)	-96,576 (177,502)	17,713 (12,571)	17,864 (13,569)	44,516 (95,407)	53,596 (100,256)
<i>PIBpc</i>	2,952 (3,591)	2,794 (3,937)	45,602 (54,613)	41,53 (57,471)	2,993 (2,728)	2,941 (2,939)	-5,667 (29,793)	-8,605 (31,173)
<i>PIBpc²</i>	-0,154 (0,200)	-0,145 (0,218)	-4,885 (5,857)	-4,442 (6,154)	-0,148 (0,145)	-0,146 (0,155)	0,777 (3,053)	1,088 (3,193)
<i>PIBpc³</i>	-	-	0,174 (0,208)	0,158 (0,218)	-	-	-0,033 (0,103)	-0,043 (0,108)
<i>Distância</i>	-	0,0005 (0,0004)	-	0,0005 (0,0005)	-	0,0005 (0,0004)	-	0,0005 (0,0004)
<i>R² ajustado</i>	0,018	0,029	0,023	0,033	0,043	0,051	0,043	0,052
<i>F</i>	1,588	1,654	1,296	1,248	5,572	3,974	5,143	5,741
<i>Critério de Akaike</i>	2150,415	2144,071	2148,033	2142,433	2160,021	2155,117	2161,414	2156,036
<i>Critério de Schwarz</i>	2164,02	2162,212	2166,174	2165,11	2173,627	2173,258	2179,555	2178,713
<i>Nº obs</i>	689	689	689	689	689	689	689	689

Fonte: IBGE e SEEG.

Nota: Os erros padrões são estimados com erros robustos e aparecem entre colchetes. * significância a 10%, ** significância a 5% e *** significância a 1%. A variável dependente é o logaritmo do CO2 *per capita*

Tabela A9 - Municípios da Lista, Erros Robustos 2005/2010

Variáveis explicativas	2005				2010			
	<i>constante</i>	57,208*** (9,519)	53,768*** (11,327)	33,48 (87,650)	-17,855 (106,234)	59,703** (29,407)	70,965*** (26,594)	18,795 (383,450)
<i>PIBpc</i>	-6,528*** (2,176)	-5,952** (2,586)	1,800 (31,340)	19,1597 (37,357)	-7,049 (6,902)	-9,866 (6,166)	7,052 (132,029)	-13,471 (132,139)
<i>PIBpc</i> ²	0,420*** (0,123)	0,392*** (0,146)	-0,548 (3,705)	-2,526 (4,361)	0,444 (0,404)	0,611* (0,358)	-1,172 (15,116)	1,025 (15,127)
<i>PIBpc</i> ³	-	-	0,037 (0,145)	0,112 (0,169)	-	-	0,061 (0,575)	-0,016 (0,576)
<i>Distância</i>	-	0,001** (0,0004)	-	0,001** -0,0005	-	0,001 (0,0004)	-	0,001 (0,0004)
<i>R</i> ² ajustado	0,261	0,321	0,250	0,355	0,103	0,166	0,895	0,153
<i>F</i>	29,314	28,562	22,929	17,255	3,233	11,30529	2,419	8,339
<i>Critério de Akaike</i>	189,434	184,441	191,386	185,977	195,7545	191,62	197,746	193,619
<i>Critério de Schwarz</i>	196,179	193,435	200,38	197,22	202,500	200,614	206,740	204,862
<i>N</i> ^o obs	70	70	70	70	70	70	70	70

Fonte: IBGE e SEEG.

Nota: Os erros padrões são estimados com erros robustos e aparecem entre colchetes. * significância a 10%, ** significância a 5% e *** significância a 1%. A variável dependente é o logaritmo do CO2 *per capita*

Tabela A10 - Municípios da Lista, Erros Robustos 2015/2020

Variáveis explicativas	2015				2020			
<i>constante</i>	61,931*** (18,047)	64,771*** (18,7535)	-157,184 (303,613)	-122,711 (297,395)	52,274*** (12,954)	55,202*** (12,754)	123,218 (107,572)	85,5471 (120,840)
<i>PIBpc</i>	-7,369* (3,936)	-8,115* (4,128)	65,000 (100,993)	53,804 (98,836)	-5,083* (2,732)	-5,781** (2,705)	-27,719 (34,375)	-15,465 (38,602)
<i>PIBpc²</i>	0,447** (0,213)	0,489** (0,225)	-7,493 (11,157)	-6,304 (10,914)	0,309** (0,142)	0,345** (0,141)	2,704 (3,646)	1,370 (4,094)
<i>PIBpc³</i>	-	-	0,289 (0,409)	0,247 (0,400)	-	-	-0,084 (0,128)	-0,036 (0,144)
<i>Distância</i>	-	0,001** (0,0004)	-	0,001** (0,0004)	-	0,0009** (0,0004)	-	0,0009* (0,0004)
<i>R² ajustado</i>	0,237	0,292	0,231	0,2856	0,380	0,419	0,373	0,411
<i>F</i>	20,532	16,027	12,928	10,01	53,129	38,222	46,905	32,281
<i>Critério de Akaike</i>	187,356	183,0641	188,777	184,602	174,344	170,728	176,096	172,68
<i>Critério de Schwarz</i>	194,101	192,058	197,771	195,844	181,09	179,722	185,09	183,922
<i>Nº obs</i>	70	70	70	70	70	70	70	70

Fonte: IBGE e SEEG.

Nota: Os erros padrões são estimados com erros robustos e aparecem entre colchetes. * significância a 10%, ** significância a 5% e *** significância a 1%. A variável dependente é o logaritmo do CO2 *per capita*

Tabela A11 - Municípios da Lista, Erros Agrupados por Estado 2005/2010

Variáveis explicativas	2005				2010			
<i>constante</i>	57,209*** (11,780)	53,768*** (8,058)	33,480 (91,919)	-17,8554 (105,071)	59,703*** (21,746)	70,965*** (26,125)	18,795 (285,523)	81,424 (313,995)
<i>PIBpc</i>	-6,529** (2,676)	-5,952*** (1,753)	1,800 (33,696)	19,16 (37,573)	-7,049 (5,157)	-9,866 (6,148)	7,052 (97,828)	-13,471 (108,322)
<i>PIBpc²</i>	0,420*** (0,148)	0,392*** (0,094)	-0,548 (4,081)	-0,526 (4,453)	0,444 (0,306)	0,611* (0,362)	-1,172 (11,148)	1,025 (12,438)
<i>PIBpc³</i>	-	-	0,037 (0,163)	0,112 (0,174)	-	-	0,061 (0,422)	-0,016 (0,475)
<i>Distância</i>	-	0,001*** (0,0003)	-	0,001*** (0,0003)	-	0,001*** (0,0002)	-	0,001*** (0,0003)
<i>R² ajustado</i>	0,261	0,321	0,250	0,315	0,103	0,166	0,895	0,153
<i>F</i>	177,651	311,854	91,82	128,022	1,572	11,353	1,149	9,789
<i>Critério de Akaike</i>	189,434	184,441	191,3862	185,977	195,754	191,62	197,746	193,619
<i>Critério de Schwarz</i>	196,179	193,435	200,38	197,219	202,5	200,614	206,74	204,862
<i>N° obs</i>	70	70	70	70	70	70	70	70

Fonte: IBGE e SEEG.

Nota: Os erros padrões são estimados com erros robustos e aparecem entre colchetes. * significância a 10%, ** significância a 5% e *** significância a 1%. A variável dependente é o logaritmo do CO2 *per capita*

Tabela A12 - Municípios da Lista, Erros Agrupados por Estado 2015/2020

Variáveis explicativas	2015				2020			
	<i>constante</i>	61,931*** (18,155)	64,771*** (17,560)	-157,184 (481,039)	-122,711 (516,884)	52,274*** (16,028)	55,202*** (13,321)	123,218 (122,804)
<i>PIBpc</i>	-7,369* (3,876)	-8,115** (3,779)	65,000 (160,759)	53,804 (172,539)	-5,083 (3,393)	-5,781** (2,805)	-27,719 (40,052)	-15,465 (58,431)
<i>PIBpc^2</i>	0,447** (0,203)	0,489** (0,199)	-7,493 (17,841)	-6,304 (19,128)	0,309* (0,176)	0,345** (0,144)	2,704 (4,339)	1,37 (6,283)
<i>PIBpc^3</i>	-	-	0,289 (0,657)	0,247 (0,704)	-	-	-0,084 (0,156)	-0,036 (0,224)
<i>Distância</i>	-	0,001*** (0,0003)	-	0,001*** (0,0003)	-	0,0009*** (0,0002)	-	0,0009*** (0,0003)
<i>R² ajustado</i>	0,237	0,292	0,231	0,285	0,38	0,419	0,373	0,411
<i>F</i>	518,576	62,318	729,551	61,896	147,185	105,4624	401,188	115,4857
<i>Critério de Akaike</i>	187,356	183,064	188,777	184,6019	174,344	170,729	176,096	172,68
<i>Critério de Schwarz</i>	194,1014	192,058	197,771	195,844	181,09	179,722	185,09	183,9225
<i>Nº obs</i>	70	70	70	70	70	70	70	70

Fonte: IBGE e SEEG.

Nota: Os erros padrões são estimados com erros robustos e aparecem entre colchetes. * significância a 10%, ** significância a 5% e *** significância a 1%. A variável dependente é o logaritmo do CO2 *per capita*

Tabela A13 - Todos os municípios, Erros Robustos

Variáveis explicativas	2005	2010	2015	2020
<i>constante</i>	27,625*** (3,530)	14,501*** (4,890)	25,440*** (5,098)	23,295*** (4,116)
<i>PIBpc</i>	0,9742 (0,838)	4,004*** (1,159)	1,360 (1,156)	1,723* (0,909)
<i>PIBpc^2</i>	-0,045 (0,049)	-0,221*** (0,0002)	-0,986 (0,065)	-0,078 (0,0002)
<i>Distância</i>	0,0003 (0,0002)	0,0003 (0,0002)	0,0004* (0,0002)	0,0003 (0,0002)
<i>R^2 ajustado</i>	0,017	0,028	0,020	0,041
<i>F</i>	6,627	12,735	8,595	16,692
<i>Critério de Akaike</i>	2356,267	2343,879	2370,176	2386,012

Fonte: IBGE e SEEG.

Nota: Os erros padrões são estimados com erros robustos e aparecem entre colchetes. * significância a 10%, ** significância a 5% e *** significância a 1%. A variável dependente é o logaritmo do CO2 *per capita*

Tabela A14 -Municípios Fora da lista, Erros Robustos

Variáveis explicativas	2005	2010	2015	2020
constante	23,495*** (4,105)	11,015** (5,042)	19,180*** (5,636)	17,864*** (4,033)
PIBpc	1,969** (0,981)	4,826*** (1,192)	2,794** (1,286)	2,941*** (0,892)
PIBpc ²	-0,105* (0,058)	-0,269*** (0,070)	-0,145** (0,073)	-0,146*** (0,049)
Distância	0,0004* (0,0002)	0,0005** (0,0002)	0,0005** (0,0002)	0,0005** (0,0002)
R ² ajustado	0,022	0,042	0,029	0,051
F	7,955	15,042	10,837	18,632
Critério de Akaike	2134,603	2118,724	2144,071	2155,117

Fonte: IBGE e SEEG.

Nota: Os erros padrões são estimados com erros robustos e aparecem entre colchetes. * significância a 10%, ** significância a 5% e *** significância a 1%. A variável dependente é o logaritmo do CO2 *per capita*

Tabela A15 – Municípios da Lista, Erros Robustos

Variáveis explicativas	2005	2010	2015	2020
constante	53,768*** (11,327)	70,965*** (26,594)	64,771*** (18,7535)	55,202*** (12,754)
PIBpc	-5,952** (2,586)	-9,866 (6,166)	-8,115* (4,128)	-5,781** (2,705)
PIBpc ²	0,392*** (0,146)	0,611* (0,358)	0,489** (0,225)	0,345** (0,141)
Distância	0,001** (0,0004)	0,001 (0,0004)	0,001** (0,0004)	0,0009** (0,0004)
R ² ajustado	0,321	0,166	0,292	0,419
F	28,562	11,30529	16,027	38,222
Critério de Akaike	184,441	191,62	183,0641	170,728

Fonte: IBGE e SEEG.

Nota: Os erros padrões são estimados com erros robustos e aparecem entre colchetes. * significância a 10%, ** significância a 5% e *** significância a 1%. A variável dependente é o logaritmo do CO2 *per capita*