

## EVIDÊNCIA DA CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL NO BRASIL

Samanda Silva da Rosa<sup>1</sup>

**Resumo:** O presente artigo tem o objetivo de analisar, através de duas estruturas de dados em painel, a relação entre emissões de gases de efeito estufa e a Curva Ambiental de Kuznets para os 27 estados brasileiros com diferentes níveis de desenvolvimento, tendo como variável dependente a emissão de CO<sub>2</sub> equivalente, proveniente do consumo de energia elétrica. Como variáveis explanatórias no primeiro modelo, o PIB *per capita*, a população, densidade demográfica, o consumo de energia elétrica residencial, comercial, público e industrial. E no segundo modelo, o PIB *per capita* e a geração de energias renováveis e não renováveis. Observou-se na pesquisa, que a relação entre o PIB *per capita* e a emissão de CO<sub>2</sub> *per capita* apresenta uma Curva Ambiental de Kuznets na forma de U. Os resultados demonstraram a importância do Brasil para a redução de emissão de CO<sub>2</sub> no mundo, além de destacar que o PIB *per capita* constitui a variável explanatória com menor impacto sobre a emissão de CO<sub>2</sub> *per capita*, e que o impacto ambiental cresce em função do desenvolvimento das economias.

**Palavras-chave:** Curva Ambiental de Kuznets, Crescimento Econômico e Efeito Estufa.

## EVIDENCE OF THE ENVIRONMENTAL KUZNETS CURVE IN BRAZIL

**Abstract:** The objective of this paper is to analyze, through two panel data structures, a relationship between greenhouse gas emissions and the Kuznets Environmental Curve for the 27 Brazilian states with different levels of development. CO<sub>2</sub> equivalent, derived from the consumption of electric energy. As explanatory variables in the first model, per capita GDP, population, population density, consumption of residential, commercial, public and industrial electricity. And in the second model GDP per capita and a generation of renewable and non-renewable energy. It was observed in the research that the relationship between per capita GDP and per capita CO<sub>2</sub> emissions presents an U-shaped Kuznets Environmental Curve. The results demonstrated the importance of Brazil for a reduction of CO<sub>2</sub> emissions in the world, besides Discard that GDP per capita is an explanatory variable with less impact on a per capita CO<sub>2</sub> emission, and that the environmental impact increases as the economies develop.

**Keywords:** Kuznets Environmental Curve, Economic Growth, and Greenhouse Effect.

---

1 Possui graduação em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Pelotas (2011) e Ciências Econômicas pela Universidade Federal do Rio Grande (2016), mestrado em Economia Aplicada pela Universidade Federal do Rio Grande (2018) e Doutorado em Economia do Desenvolvimento pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (2021).

## 1. Introdução

É consenso mundial que as mudanças climáticas no planeta são uma realidade que afeta o bem-estar da sociedade. Pesquisadores estudam os impactos causados no meio ambiente devido às emissões dos gases do efeito estufa. Consequências que podem causar mudanças na temperatura do planeta, acarretando em alterações no regime de chuvas, em fenômenos climáticos como: secas, furacões, tempestades e redução na oferta de água doce, ou seja, causando um desequilíbrio em todo o ecossistema. A relação entre o desenvolvimento e crescimento econômico ambiental sustentável tem sido abordada ao longo dos anos. Estudos com esse foco propiciam que políticas econômicas possam ser elaboradas para uma contribuição na análise dessa ligação no âmbito da economia ambiental.

Segundo o relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas IPCC (2007), nos últimos 150 anos houve um aumento de  $0,76^{\circ}\text{C}$  na temperatura global e um aceleração nesse processo a partir da década de 50. O período entre 1995 e 2006 é o de temperaturas mais elevadas desde 1850. O relatório ainda ressalta que o aumento de gases de efeito estufa, está causando um distúrbio no clima, devido a uma movimentação das atividades econômicas a partir da Revolução Industrial. O ritmo em que aumenta essas emissões, pode de fato ser superior à capacidade que o planeta pode absorver de forma natural. Estas emissões aumentaram 70% entre 1970 e 2004. De acordo com o IPCC (2022) no ano de 2023 é quando os países revisarão o progresso em direção às metas do Acordo de Paris, incluindo a meta de manter a elevação da temperatura média global bem abaixo de  $2^{\circ}\text{C}$ , buscando esforços para limitar em  $1,5^{\circ}\text{C}$ .

Ainda de acordo com o IPCC (2007), em um contexto internacional, no ano de 2004, foram emitidas entre 25,3 e 27,5  $\text{GtCO}_2$  ao ano pelo uso de combustíveis fósseis, no qual os EUA lideram o ranking das emissões com 6,0  $\text{GtCO}_2$  ao ano, seguidos pela China com 5,0  $\text{GtCO}_2$  ao ano, fazendo com que estes dois países fiquem com uma parcela de 40% das emissões mundiais de  $\text{CO}_2$ . Mesmo que os EUA e os países desenvolvidos sejam os responsáveis pela maior parcela dessas emissões, os países em desenvolvimento já alcançaram um total de 42,5% das emissões provindas da queima de combustíveis fósseis, como mostra o relatório.

O Brasil contribuiu com 1,92  $\text{GtCO}_2$  (carbono equivalente) ou 3,5% das emissões globais anuais em 2015, considerando o tamanho do território nacional de 5% da superfície terrestre, sua contribuição nas emissões globais é relativamente pequena, ainda assim é a sétima maior emissão do Planeta, predominando o setor de uso da terra e florestas, seguido pelo setor de energia, como mostra o Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG). De acordo com o instituto Carbon Brief (2020) entre os anos de 1980 até 2020 o Brasil foi responsável por 4,5% de todas as emissões de carbono do mundo, isto é, 112,9 bilhões de toneladas de  $\text{CO}_2$  ( $\text{GtCO}_2$ ) – sendo que mais de 85% dessa quantidade veio da derrubada de florestas (96,9  $\text{GtCO}_2$ ).

O aumento das emissões de  $\text{CO}_2$  está diretamente ligado ao consumo de energia da população mundial. Segundo Goldemberg e Lucon (2007), após a Revolução Industrial, foi preciso usar mais carvão, petróleo e gás, fontes de energia com alto custo tanto de produção quanto de transporte. Além disso, os padrões atuais de produção e consumo de energia ainda são vindos de fontes fósseis, ou seja, resulta em uma considerável emissão de

poluentes e gases de efeito estufa, o que poderá por em risco o suprimento no longo prazo do planeta.

Há décadas tem-se observado um expressivo empenho no estudo sobre a relação entre a distribuição de renda e crescimento econômico. O trabalho elaborado por Kuznets (1955) é considerado como fomentador dessa análise. A matéria apresenta a tese da relação entre crescimento econômico e a relação não linear da desigualdade de renda, tal suposição tem sido largamente debatida e testada. Observada inicialmente para a Alemanha, Estados Unidos e Grã-Bretanha, tem sua justificativa embasada no diferencial de rendimentos revelada pela transição de uma economia agrícola para uma economia industrial. Respalhando-se na ideia proveniente da Curva de Kuznets, Grossman e Krueger (1991, 1995) restauraram as discussões a respeito da relação entre o crescimento da renda e a degradação do meio ambiente, originando o conceito hoje conhecido na literatura como Curva de Kuznets Ambiental (CKA).

Contudo, assumindo a renda *per capita* de países tanto periféricos quanto centrais como um critério de crescimento, e se observarmos a relação ao longo do tempo desse critério e de certos índices de qualidade ambiental, ao que parece só em países com baixos níveis de renda *per capita*, aumentos desta seriam acompanhados de uma acentuação na degradação ambiental. Em economias desenvolvidas, a relação que parece existir é oposta, quanto maior o crescimento da renda, menores seriam, em termos relativos, as relevâncias desses indicadores de degradação ambiental. Então, verifica-se que haveria uma transferência das indústrias intensivas em poluição para os países em desenvolvimento com renda *per capita* menor, em função dos diferenciais de regulação ambiental, conforme a Hipótese dos Paraísos de Poluição (*Pollution Haven Hypothesis*).

Nessa conjuntura, os diferenciais de consistência no processo de regulação ambiental entre os países desenvolvidos (ou economias centrais) e países em desenvolvimento (economias periféricas) gerariam vantagens relativas em produtos intensivos em poluição para os últimos. Motivando um importante deslocamento de atividades econômicas poluidoras para as economias em desenvolvimento. Logo, na hipótese de a proposição ser verdadeira, a elasticidade-renda por produtos manufaturados, em particular aqueles intensivos em poluição, deverá ser negativa quando se atinge um alto nível de renda (COLE, 2004).

À vista disso, a concepção referente à Curva de Kuznets Ambiental expõe em seus princípios a trajetória ao longo do tempo, onde a poluição de um país seguirá como consequência do crescimento econômico. No momento em que o crescimento acontece em um país extremamente pobre, a poluição primeiramente cresce porque os aumentos na produção geram emissões de poluentes e porque o país, dada sua pobreza, coloca uma baixa prioridade sobre o controle da degradação ambiental. Sendo assim, se um país ganhar suficiente grau de desenvolvimento, sua prioridade passará a ser a proteção da qualidade ambiental, e caso o efeito renda seja forte o bastante, então causará a diminuição da poluição. Análogo argumento sugere que a melhoria ambiental não pode vir sem crescimento econômico. Assim sendo, o interesse despertado pela Curva de Kuznets Ambiental ocorreu em função da capacidade deste modelo se tornar uma referência para explicar a relação entre poluição ambiental em suas várias formas geradas pelo processo de crescimento *versus* desenvolvimento econômico (GROSSMAN; KRUEGER, 1995).

Segundo a explicação dada por Grossman e Krueger (1995), a Curva de Kuznets Ambiental demonstra que algumas medidas de degradação ambiental se elevariam nos momentos iniciais do crescimento econômico, porém, provavelmente, diminuiriam quando certo nível de renda fosse alcançado, ou seja, surgiu a seguinte hipótese: em um país subdesenvolvido cuja renda *per capita* apresenta um crescimento de forma significativa, a inserção de quantidades crescentes tanto de energia quanto de materiais conduz a uma degradação ambiental, com indicadores cada vez maiores. Mas isso, de acordo com os estudos, aconteceria até certo nível de renda *per capita*. Logo, se a renda desse país continuar crescendo, será atingido um nível de renda *per capita* após o qual, aumentos posteriores nesse indicador trariam reduções na magnitude dos indicadores de degradação ambiental. Esta é a essência da hipótese do U-invertido ambiental, também conhecido como Curva de Kuznets Ambiental (CKA), confirmada em estudos de Grossman e Krueger (1995), Andreoni e Levinson (2001).

Desse modo, a curva do U-invertido ambiental expressa a ideia de que a influência ambiental diminuiria após estabelecer determinado nível de crescimento econômico. Alguns estudiosos assevem que a reparação na qualidade ambiental acontece espontaneamente com o processo de desenvolvimento econômico, isto é, ela é endógena ao processo. Todavia, outros salientam que uma melhora nos indicadores ambientais seja fruto de uma maior demanda ambiental, que se amplia com o incremento da renda, e passa a coagir as políticas públicas para maiores regulações e investimentos nas áreas ambientais (MUNASINGHE, 2002).

Observando esse contexto, sabe-se que o aumento significativo de indústrias pós-revolução industrial, o atual progresso tecnológico e o aquecimento da economia são uns dos fatores determinantes para o aumento da emissão de gases do efeito estufa no planeta. No Brasil, houve um crescimento considerável no consumo de energia nas últimas décadas, no que tange ao consumo público, residencial, comercial e industrial. O incentivo pelo estudo da emissão de CO<sub>2</sub> é ocasionado pelo seu importante papel no atual cenário de debate no desenvolvimento sustentável. A questão é: esse aumento de consumo de energia e das atividades econômicas impactou de que forma na emissão de CO<sub>2</sub>? Este estudo se mostra relevante ao passo que apresenta um importante período de tempo analisado e tendo como partida as emissões de gases efeito estufa atrelados ao consumo de energia elétrica.

O artigo se encontra dividido em cinco seções, incluindo esta introdução. A segunda parte fundamenta a relação entre crescimento econômico e meio ambiente e aborda brevemente uma revisão empírica. A terceira parte apresenta o modelo utilizado e a base de dados. A quarta parte discute os resultados empíricos obtidos e a última seção é dedicada às principais conclusões.

## **2. O crescimento econômico e o meio ambiente**

A dependência do crescimento econômico com o grau de degradação ambiental tem sido amplamente discutida no meio acadêmico. Evidências empíricas salientam que o impacto ambiental dependerá, entre outros fatores, do estágio de crescimento econômico seguido por desenvolvimento que o país esteja inserido. Desse modo, o estágio inicial do desenvolvimento econômico dos países equivale a uma forte dependência da agricultura

e dos produtos primários, mas pouco tocante no meio ambiente. Por meio do progresso da economia, a produtividade de manufaturas passa a ter maior participação no produto interno e, como consequência, uma possível melhoria dos indicadores ambientais e da renda (MUELLER, 1996, 1997). Segundo Zhang *et al.* (2018) salientam quando se trata da CKA, é necessário incorporar na análise variáveis como mudanças demográficas, reestruturação econômica e a qualidade ambiental.

Uma importante evidência empírica foi apresentada no artigo de Grossman e Krueger (1995), no qual foi demonstrado não existir uma conformidade sobre a ligação entre a renda e a melhoria dos indicadores ambientais. A maioria dos autores concorda sobre os fundamentos que atuam na determinação do nível de degradação ambiental. Assim, se pressupõe que ela depende do efeito escala, do efeito composição e do efeito tecnológico. Estes efeitos relacionam-se respectivamente com o incremento da atividade econômica, com a estrutura do consumo e da produção e com a tecnologia a ser empregada.

Na hipótese de o volume de degradação ser constante entre os países, seria de se presumir, dado o efeito escala, que um aumento na produção deles aumentasse a degradação ambiental, na mesma proporção, no planeta. Todavia, o efeito escala pode ficar absorvido se os efeitos de composição e de tecnologia estiverem suficientemente grandes para agir em sentido contrário. Portanto, a degradação poderia se limitar-se com o crescimento econômico à medida que a produção se transferisse entre setores, ou seja, o setor de serviços pudesse aumentar sua participação relativamente ao setor manufatureiro. Além disso, alguns setores podem adotar tecnologias que utilizem menos recursos naturais, com incrementos de tecnologia e consequentemente que poluam menos.

É necessário enfatizar que o estudo da relação crescimento *versus* desenvolvimento e meio ambiente não é novo dentro da ampla literatura de crescimento econômico e remonta à década de 1960 e início da década de 1970. O impacto do crescimento sobre o meio ambiente foi observado por Mishan e Mishan (1967) e Solow (1972).

Em seu trabalho, Daly (1991) não supôs que os próprios avanços na renda *per capita* dos países podem fazer com que se diminua o uso dos recursos e da poluição gerada, conforme exposto pela Curva de Kuznets Ambiental. Uma das explicações para este fenômeno está em que, com o crescimento econômico, o efeito composição e as técnicas de produção (avanços tecnológicos) podem ser suficientemente fortes a ponto de sobrepor o efeito adverso sobre o meio ambiente.

Ainda, o próprio incremento da renda acarreta um aumento da demanda por produção ambiental, à medida que questões mais imediatas para o desenvolvimento econômico são resolvidas (saúde e educação), de forma ao incrementar a qualidade ambiental para níveis altos de renda. Assim, a literatura sobre crescimento econômico indica que a introdução de uma base de recursos naturais não renováveis tem por efeito atrasar a acumulação de capital ou limitar o crescimento sustentado, mesmo em condições de progresso tecnológico (DASGUPTA; HEAL, 1974; KAMIEN; SCHWARTZ, 1978; HOWITT; AGHION, 1998).

Assim, as reflexões teóricas apontam que existe certo padrão negativo entre a oferta de recursos naturais, crescimento econômico, geração de resíduos *versus* pobreza, e isto

parece ser tanto maior, quanto maior é a proporção das exportações de recursos naturais, em relação ao PIB (GROSSMAN; KRUEGER, 1995; GYLFASSON *et al.* 1999; GYLFASSON, 2001).

Portanto, uma vez expostas as principais argumentações teóricas e evidências da literatura relacionando crescimento econômico e ciclo ambiental, faz-se em seguida uma conexão desta relação com alguns estudos empíricos.

## 2.1 Revisão da literatura empírica

Uma ampla bibliografia sobre a Curva Ambiental de Kuznets tem se evidenciado, e tem sua origem nos trabalhos de Grossman e Krueger (1991), e Shafik e Bandyopadhyay (1992), e indicam evidências empíricas de que alguns indicadores de poluição apresentam um comportamento análogo ao caminho caracterizado pelo U invertido, ao passo em que a renda *per capita* aumenta, a poluição aumenta até um determinado ponto de inflexão. Estudos análogos indicam que, economias em desenvolvimento ou economias periféricas tendem a deteriorar seu meio ambiente à medida que crescem economicamente, e esta degradação atinge um ápice, quando começa um movimento de queda simultâneo ao acúmulo de riquezas.

Os resultados apresentados pelos artigos descritos evidenciam que a relação entre poluição e crescimento econômico tem sido, desde então, denominada Curva Ambiental de Kuznets, devido à analogia desta com a relação apontada por Kuznets (1955) entre desigualdade de renda e crescimento econômico.

Os autores Grossman e Krueger (1991) ensaiaram de forma empírica a relação entre meio ambiente e crescimento econômico. A partir de uma amostra *cross-country* e três medidas de degradação do ar, os resultados apontam um U invertido para os níveis de dióxido de enxofre e fumaça (concentração de “partículas escuras” suspensas – *dark matter suspended*), enquanto para o montante de partículas suspensas (*mass of suspended particles*) a partir de um certo volume de ar a relação apresenta tendência monotonicamente decrescente em relação à renda. Nesse sentido, foi uma análise econométrica pioneira, que comprovou o revés da degradação, a partir de determinado nível de renda *per capita*.

No trabalho de Shafik e Bandyopadhyay (1992), os autores estimaram um modelo econométrico levando-se em consideração 149 países no período compreendido entre 1960 e 1990. A partir de dados em painel, onde, considerou como variáveis dependentes a ausência de água limpa, saneamento urbano, oxido de enxofre, oxigênio dissolvido em rios, coliformes fecais em rios, resíduos per capita lançados em alguns municípios e emissões de carbono *per capita*. Os resultados demonstraram que ambos os poluentes de ar apresentam a forma de “U” invertido conforme a hipótese do CKA. Ambos os resíduos municipais e emissões de carbono *per capita* foram crescentes com a renda.

Para Stern (2003) que realizou uma pesquisa, observando um total de 64 países em um período compreendido entre 1973 e 1990. Utilizou para esta pesquisa dados em painel. O trabalho procurou avaliar a relação entre CO<sub>2</sub> e renda *per capita*. E de acordo com os resultados encontrados, verificaram-se modificações nas emissões devidas a mudanças nos fatores (mix de insumos, mix de produtos, escala de produção progresso tecnológico, uso

de energia e estrutura industrial) em vez de atribuí-las ao formato da Curva de Kuznets Ambiental gerado pelo Produto Interno Bruto *per capita*, logo, o impacto das emissões tem fornecido pouco incentivo para as nações desenvolverem ações unilaterais para sua redução.

De acordo com Selden e Song (1994) que estimaram uma Curva de Kuznets Ambiental, para 30 países (22 são países do OCDE), utilizando como metodologia dados em painel. No modelo, as variáveis dependentes foram; emissões de SO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, SPM, CO e as variáveis independentes são a renda *per capita* e densidade populacional. As estimações demonstraram que em níveis suficientemente altos de renda, a poluição poderia cair à zero.

Alguns autores defendem que a CK teria, na verdade, o formato próximo a um “N”; ou seja, conforme dada economia eleva seus níveis de renda *per capita*, a desigualdade de renda voltaria a aumentar em função do crescimento econômico no longo prazo (HAMAIDE, 2022). As relações tanto da CKA (“U-invertido”) como do formato “N” são justificadas na literatura por diversos fatores, entre os quais consequências de políticas públicas (DE PAULA; SAINANI, 2019).

No caso de trabalhos empíricos referentes à economia brasileira, Lucena (2005) estimou uma Curva de Kuznets Ambiental para o Brasil utilizando séries temporais para o período entre 1970 e 2003. O autor utilizou duas medidas diferentes para a variável dependente do modelo estimado. Uma estimação foi realizada com o consumo de energia como variável dependente e outra com as emissões de dióxido de carbono. As variáveis explicativas foram renda *per capita*, a renda *per capita* ao quadrado, a renda *per capita* ao cubo e variáveis de controle. Os resultados para as duas variáveis dependentes são fundamentalmente diferentes. No caso de emissões de dióxido de carbono, as estimações não apontaram a existência de uma curva no formato de U invertido, mas sim uma relação positivamente inclinada entre a renda *per capita* e as emissões de CO<sub>2</sub>. As estimações que consideraram o consumo de energia são inconclusivas, de forma que não é possível confirmar ou refutar a existência de uma Curva de Kuznets Ambiental para o Brasil no período estudado.

De modo que, Fonseca e Ribeiro (2005) estimaram uma Curva de Kuznets Ambiental modificada para os estados brasileiros e o Distrito Federal, utilizando dados em painel. A grande contribuição dos autores foi fugir das medidas usuais de poluição utilizadas na literatura como variáveis dependentes. Fonseca e Ribeiro (2005) utilizaram como variável dependente o percentual de áreas ambientais protegidas dos estados da federação. Como variáveis independentes, os autores utilizaram a renda *per capita*, a renda *per capita* ao quadrado, a renda *per capita* ao cubo e algumas variáveis de controle. Foram testadas algumas especificações distintas, porém, de forma geral, os autores captaram a importância da renda *per capita* e da variável de controle que reflete a escolaridade da população de cada estado como determinantes da extensão da proteção ambiental no Brasil. Desse modo, os resultados alcançados por Fonseca e Ribeiro (2005) sugerem que existe uma relação positiva entre proteção ambiental e crescimento econômico no país.

O trabalho de Cunha (2008) estimou uma equação cúbica econométrica da Curva de Kuznets Ambiental, assim como proposta no trabalho de Grossman e Krueger (1995). No modelo, a variável dependente é a emissão de dióxido de carbono e as variáveis independentes são a renda *per capita*, a renda *per capita* ao quadrado e a renda *per capita*

cúbica do Brasil. Utilizando estimação por Mínimos Quadrados Ordinários, para uma série temporal entre 1980 e 2004, os resultados mostraram que um aumento na renda *per capita* aumenta a emissão de dióxido de carbono na atmosfera. Mais especificamente, um aumento de 1% na renda *per capita* brasileira levaria a um aumento de 1,68% na emissão de dióxido de carbono, de acordo com os parâmetros do modelo estimado. As variáveis independentes não lineares da renda mostraram-se não significantes a 10%. Portanto, não há evidências contundentes, de acordo com Cunha (2008), da existência de uma Curva de Kuznets Ambiental brasileira no período.

De Almeida e Lobato (2019) analisam a relação entre crescimento econômico e emissões de CO<sub>2</sub> em sete estados da região norte do Brasil (Acre, Amazonas, Amapá, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins) no período 2002-2015. Para modelar a CKA estados da região norte entre os anos de 2002 e 2015, a partir da metodologia de dados em painel a partir de modelos de efeito fixo e aleatório, e de mínimos quadrados ordinários (OLS). A variável explicativa foi o PIB *per capita* e a variável dependente são as emissões de CO<sub>2</sub>. O resultado encontrado foi um U invertido, o oposto do que a conjectura postulava. Segundo os autores houve uma relação inversa entre o crescimento econômico *per capita* e as emissões de CO<sub>2</sub> nos estágios iniciais analisados na região norte do Brasil. No entanto, uma vez que o corte mínimo de CO<sub>2</sub> declarado na renda *per capita* é de R\$ 13.861,91, as emissões de CO<sub>2</sub> começarão a aumentar novamente junto com a receita. Esse resultado encontrado pelo autor que se opõe ao CKA proposto por Grossman e Krueger em 1991, uma das explicações que levaram aos resultados diametralmente opostos, nesses trabalhos semelhantes pode ser a estrutura produtiva de um país industrializado como os Estados Unidos em comparação com a estrutura produtiva da região norte do Brasil.

O trabalho realizado por Wolf *et al.* (2019) teve como objeto estudo o Estado do Mato Grosso do Sul em vista dos inúmeros impactos ambientais sofridos na localidade principalmente, devido às queimadas. Logo, os autores buscaram identificar uma relação entre desmatamento e crescimento econômico com a hipótese da CKA. A partir de dados referentes ao ano de 2008, empregando uma metodologia econométrica espacial obtiveram como resultado a não evidência de que a CKA em na forma de “U” invertido. Segundo os autores, o estado do Mato Grosso do Sul ainda está no estágio inicial da curva, por se tratar de uma economia dependente do setor agrícola e tendo características de uma economia ainda em desenvolvimento.

### 2.1.1 Energia

Desenvolvimento econômico está fortemente relacionado ao consumo de energia, em vista que um maior consumo de energia leva a uma maior produtividade. Ang (2007) analisa a causalidade entre emissão de poluentes, consumo de energia e crescimento econômico para a França no período de 1960 a 2000. Foram encontrados resultados que suportam o argumento de que crescimento econômico exerce forte influência no consumo de energia e poluição no longo prazo. O autor concluiu que a implementação de políticas de conservação de energia não afetou o desempenho econômico do país, em vista que a França pode estar menos vulnerável a choques de energia que possam afetar de negativamente o



seu PIB. Ang (2007) ainda ressalta que no curto prazo um maior consumo de energia é necessário para o crescimento econômico.

A questão entre as condições de conservação de energia que afetam a atividade econômica é de suma importância no debate internacional sobre as emissões de gases do efeito estufa. Mesmo que a essa relação entre o consumo de energia e atividade econômica esteja sendo amplamente estudada nas últimas décadas, ainda não se tem um consenso sobre a causalidade que seja relevante para políticas ambientais, como mostra Belke *et al.* (2011). O estudo mostra a relação entre o consumo de energia e o PIB real para vinte e cinco países da OCDE, no período de 1981 a 2007. O estudo sugere que ao analisar a elasticidade renda e preço para o consumo de energia, através de impostos, é possível conservar o consumo de energia.

Arpergis (2009) analisa a relação causal entre as emissões de dióxido de carbono, energia e consumo na América Central entre 1971 a 2004. Observou-se que o consumo de combustíveis varia substancialmente entre os países. Ao utilizar a hipótese da Curva de Kuznets ambiental (EKC) a qual testa a causalidade entre o crescimento econômico e consumo de energia foram encontrados resultados de que há um aumento dos poluentes, estabilização e então declínio nesses países. Concluiu ainda que à medida que estas economias crescem, há uma redução na demanda por emissões no longo prazo.

Wu *et al.* (2012) fez um estudo para China utilizando Análise de Dados Envoltória (DEA) para analisar o desempenho de eficiência industrial por emissão de CO<sub>2</sub> no período de 1997 a 2008. Segundo a pesquisa, o país tem procurado melhorar a eficiência energética, já que o setor industrial é o maior usuário final de energia, responsável por 71% de consumo de energia total em 2009. Promover o desenvolvimento de baixo carbono e aumentar a segurança energética é muito significativo para a China recentemente. Após analisar vinte e oito províncias o estudo empírico mostra que poderia se reduzir 18,4% anualmente o consumo de energia e melhorar sua eficiência. A análise de Eficiência Dinâmica concluiu que a China industrial tem melhorado 5,6% anualmente desde 1997. Além disso, essa mudança de energia estática teve um impacto negativo, enquanto a mudança tecnológica teve um impacto positivo.

Em relação ao Brasil, Pao e Tsai (2011) ressaltam que o país contribui pouco para emissões de gases do efeito estufa em relação aos BRICs. Em vista que após o choque no preço do petróleo país criou o programa Proalcool o qual acelerou a utilização de etanol, com a finalidade de reduzir a intensidade de CO<sub>2</sub>, sua economia não é mais dependente de fornecimento de petróleo estrangeiro. No entanto, acredita-se que existam fortes consequências ambientais causadas pelas transformações das florestas brasileiras em plantações de cana de açúcar. A análise sugere que o Brasil deve adotar uma estratégia de investimento em infra-estrutura de energia e intensificação de políticas de conservação de energia buscando reduzir qualquer desperdício desnecessário que possa causar um efeito negativo sobre o crescimento econômico ao diminuir o consumo de energia. Em contraste, a conservação de energia deverá aumentar o seu uso e, conseqüentemente, seu crescimento econômico no longo prazo. Segundo Pao e Tsai (2011) em 2007 o Brasil consumiu 10.046 Btu de energia para cada dólar de saída do PIB a taxas de câmbio de mercado, ligeiramente maior do que a intensidade de energia do mundo 9800 Btu. Apesar das baixas emissões, o

país é o décimo maior consumidor de energia do mundo e o terceiro maior do hemisfério ocidental, atrás dos Estados Unidos.

### 3. Métodos de Investigação

#### 3.1. Os dados

Para coletar dados, utilizaram-se fontes secundárias e sites específicos na Internet, por meio de uma prévia seleção bibliográfica já publicada, ou seja, de domínio público. Os dados utilizados no primeiro e no segundo painel são provenientes de séries temporais anuais, abrangendo o período de 1990 a 2020, sendo o período que abrange a disponibilidade de dados para todas as variáveis utilizadas. As séries foram construídas como indicado a seguir: dados de produto interno bruto foram coletados no IPEA data (1990 a 2020), e as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) provenientes do consumo de energia elétrica em milhões de toneladas métricas foram obtidas por meio do Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa compreendido entre ([www.seeg.eco.br](http://www.seeg.eco.br)). Os dados da população foram obtidos através do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística ([www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)). Os dados do consumo residencial de energia elétrica entre os anos de são provenientes do Balanço Energético Nacional ([www.ben.epe.gov.br](http://www.ben.epe.gov.br)), assim como os dados sobre geração de energia elétrica por meios renováveis e não renováveis entre os anos de, por fim, os dados de consumo de energia elétrica nos setores público, comercial e industrial são provenientes da Empresa de Pesquisa Elétrica ([www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br)).

#### 3.2. O Modelo

O presente artigo orientou-se a partir do trabalho desenvolvido por Grossman e Krueger (1995), no qual a Curva de Kuznets Ambiental que foi proposta apresentou uma relação inversa entre o produto *per capita* e emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). A relação apresentada desta curva propôs que crescimento da renda *per capita* tende a gerar aumentos ou reduções nas emissões de CO<sub>2</sub> de acordo com o estágio de desenvolvimento em que se encontra o estado. Levou-se em consideração a existência de um modelo cúbico onde  $\beta_1 > 0$ ,  $\beta_2 < 0$  e  $\beta_3 = 0$ , portanto, o gráfico confirma o comportamento de uma curva parabólica no formato de *U* invertido, ou seja, a concavidade está voltada para baixo ( $\beta_2 < 0$ ), e o vértice da parábola representa o valor máximo ou o ponto de inflexão (mudança na orientação da curva).

No que diz respeito às possíveis relações entre as variáveis apontadas no parágrafo acima, o argumento para justificá-las não oferece nenhuma polêmica adicional. Aceitando a hipótese de que a renda *per capita* é um bom indicador de desenvolvimento econômico, é natural concluir que estados com maior renda *per capita* tendem a ser mais desenvolvidos. No entanto, desenvolvimento econômico abarca outras dimensões do espectro social. Ora, então deve existir um *benchmark* para o nível de renda em que, valores à esquerda indicam uma relação positiva entre a renda *per capita* e emissões de CO<sub>2</sub> e valores à direita indicam uma relação negativa entre a renda *per capita* e emissões de CO<sub>2</sub>. Dessa forma, o modelo é capaz não só de mensurar a relação entre poluição ambiental e desenvolvimento econômico

como também apresentar evidências sobre o estágio de desenvolvimento em que se encontra o estado.

A regressão linear descreve o relacionamento entre a variável dependente (emissão de dióxido de carbono) e três variáveis independentes (produto interno bruto per capita, produto interno bruto per capita ao quadrado, produto interno bruto per capita ao cubo) no período de 1990 a 2020. Vale salientar que esse estudo estimou a equação cúbica econométrica derivada do estudo de Grossman e Krueger (1995). Sendo assim, o modelo econométrico proposto, defasado de 1 período, com objetivo de explicar a equação CKA para o Brasil é o seguinte:

$$D(\text{LogCO}_2) = \alpha + D(\beta_1 \text{LogY}) + D(\beta_2 \text{LogY}^2) + D(\beta_3 \text{LogY}^3) + \xi_t \quad (1)$$

Em que:

D - primeira diferença;

CO<sub>2</sub> – emissão de dióxido de carbono em milhões de toneladas métricas;

Y – produto interno bruto per capita;

β<sub>1</sub>, β<sub>2</sub>, β<sub>3</sub> - são os coeficientes a serem estimados e medem as elasticidades do CO<sub>2</sub> em relação às respectivas variáveis independentes;

ξ<sub>t</sub> - erro aleatório

Vale salientar que a relação da CKA sugere que o crescimento da renda per capitatende a gerar um crescimento nas emissões de CO<sub>2</sub> e posteriormente uma redução nas emissões de CO<sub>2</sub> ao longo do tempo. O modelo proposto por Grossmann e Krueger (1995), implica em uma função quadrática para a relação entre emissão de CO<sub>2</sub> e renda *per capita*. O modelo econométrico estimado teve como objetivo avaliar tal relação, para isso os parâmetros calculados para a equação (1) deverão ser estatisticamente:

$$\beta_1 > 0, \beta_2 < 0 \text{ e } \beta_3 = 0 \quad (2)$$

A opção pela forma logarítmica deu-se por questões de conveniência empírica. Segundo Koutsoyiannis (1978), na maioria dos casos, a teoria econômica não mostra explicitamente a forma matemática das relações econômicas. Devido à incerteza da teoria econômica a esse respeito, tem-se tornado uma prática usual para o econometrista experimentar várias formas e então escolher, entre os vários resultados, aquele que é julgado o mais satisfatório com base em certos critérios estatísticos e econométricos.

Foi executado o modelo de dados em painel (modelo de efeitos fixos e de efeitos aleatórios) para a verificação da viabilidade da CKA através do *software* Stata. Dados em painel são dados combinados que têm uma dimensão de corte transversal (espacial ou de espécie), e outra temporal, eles proporcionam maior grau de liberdade e, em consequência, mais variabilidade entre as variáveis e menos colinearidade, o que reduz o viés nas estimativas (BALTAGI, 2005).

A equação básica utilizada para a verificação empírica da CKA é especificada da forma seguinte:

$$y_{it} = \alpha_i + \beta_{it}x_{it} + \beta_{it}x_{it}^2 + \beta_{it}x_{it}^3 + \gamma_{ni}z_{nit} + \epsilon_{it} \quad (3)$$

Onde  $y_{it}$  representa a variável dependente. No modelo da CKA, o impacto ambiental é explicado pelo crescimento econômico e outras variáveis de cunho econômico e social. Portanto, a variável a ser explicada será a emissão de  $CO_2$  *per capita*. A variável explanatória  $x_{it}$  é a medição de crescimento econômico, caracterizada pelo PIB *per capita* dos estados. E,  $z_{nit}$  representa outros fatores sociais e econômicos, com caracteres endógenos ou exógenos, peculiares de cada economia.

#### 4. Resultados

Abaixo, faz-se a exposição dos resultados obtidos com suas respectivas análises, Tabela 1. A variável dependente é a variação da emissão de  $CO_2$  equivalente através do uso da energia elétrica. A Tabela 1 apresenta os resultados das regressões. A definição entre os modelos de dados em painel ocorreu levando em consideração: i) O teste F; ii) O teste de Hausman; iii) Equilíbrio dos dados no painel. Os critérios anteriores indicaram o modelo de efeito fixo.

Tabela 1 - Estimação dos determinantes da emissão de  $CO_2$  provenientes do consumo de energia elétrica em função da renda *per capita*.

Variáveis	Modelo de Efeitos Fixos (MEF)	Modelo de Efeitos Aleatórios (MEA)
População	-23.8234*** (12.3941)	9.9230*** (2.9311)
Densidade	252313.0394*** (998,391.3193)	-209223.3153** (163,123.9323)
PIB	-9,231.3923*** (2,532.4323)	-8,324.3915*** (2,429.3204)
PIB <sup>2</sup>	0.3103*** (0.0938)	0.2941** (0.0874)
PIB <sup>3</sup>	-0.0000*** (0.0000)	-0.0000*** (0.0000)
Residencial	6,853.4824* (5,984.4325)	3,923.2444 (3,341.3924)
Comercial	-8,243.4340*** (4,446.4524)	-6,424.4928** (3,9324.4932)
Publico	63,456.0562** (50,535.0562)	16,424.4240* (36,043.2452)
Industrial	-6,852.4924*** (1,983.9485)	-3,483.1392** (1,624.4952)
Constante	1.7245e+08** (8.9842e+07)	1.4525e+08*** (2.7834e+07)
Nº de observações	243	243
Número de estados	27	27
R <sup>2</sup>	0.3093	0,3294
Teste Hausman		(0,0000)

Obs. 1: \*\*\* significativo a 1%, \*\* significativo a 5% e \* significativo a 10%. Obs. 2: Os números entre parênteses representam os valores dos testes t.

Os resultados explicitados na Tabela 1 do Modelo de Efeito Fixo demonstram todas as variáveis se mostraram estatisticamente significantes com a variável dependente. Analisando o coeficiente de determinação  $R^2$ , ajustado do modelo de efeito fixo, percebe-se que cerca de 33% das variações nas emissões de  $CO_2$  foram explicados por alterações nas variáveis citadas.

O procedimento de análise da estimação de uma CKA compreende a análise dos sinais das variáveis explicativas e da magnitude do coeficiente da renda ao cubo. Segundo Grossman e Krueger (1995) nenhuma inferência pode ser feita a respeito da relação entre os valores dos coeficientes das variáveis explicativas com a variável dependente.

Em ambos os modelos, os sinais dos coeficientes não são os esperados pela teoria. Ambos os modelos, que incluem a variável PIB ao cubo como variável explicativa adicional tem que o coeficiente dessa variável é zero, mas significativo, o que aponta para uma curva do tipo U. Desta forma, a ocorrência do movimento descrito pela CKA não está condicionada ao nível de renda.

Partindo para análise das estimativas, o coeficiente da população sugere que a relação entre o crescimento populacional e emissões  $CO_2$  é negativa. Esse resultado nos leva a rejeitar a hipótese da existência de um efeito direto positivo da população nas emissões de dióxido de carbono. Segundo Liddle e Lung (2010) argumentam, esses resultados indicam que as emissões totais podem sofrer mais influências de outros setores da economia, do que pela soma do comportamento dos agentes.

No modelo as emissões foram elásticas ao crescimento da renda. Já o sinal negativo do PIB *per capita*, indica que as emissões crescem a taxas decrescentes. Nesse sentido, a relação entre o PIB *per capita* e as emissões de  $CO_2$  é não linear na forma logarítmica, logo, apresenta evidências da CKA na forma de U invertido, corroborando com a existência de um efeito indireto positivo do nível de renda com as emissões de  $CO_2$ . Esse resultado indica um incremento literário para o Brasil, uma vez que não há evidências da existência da CKA a nível desagregado por unidade federativa para o caso do país (MORAIS, 2019).

Comparando os resultados para consumo energético e para as emissões de  $CO_2$  proveniente deste, observa-se que os formatos das funções de regressão estimadas são distintos. Embora a equação estimada para energia mostre que, por habitante, o consumo energético marginal é decrescente quando a renda aumenta – i.e. cada incremento na renda *per capita* gera um incremento no consumo energético por habitante cada vez menor – as emissões de  $CO_2$  por habitante não seguem o mesmo padrão. Ao contrário, a função de regressão estimada indica que as emissões desse poluente têm crescido linearmente junto com a renda. Em outras palavras, embora tenha se usado menos energia por habitante conforme a renda desse aumenta – o que corresponderia a um estágio intermediário da CKA, antes da inflexão – a energia utilizada é cada vez mais suja em termos de  $CO_2$ .

Na Tabela 2, faz-se a exposição dos resultados obtidos com suas respectivas análises, sobre a ocorrência da CKA na geração de energias renováveis e não renováveis. A variável dependente é a variação da emissão de  $CO_2$  equivalente através do uso da energia elétrica. A Tabela 2 apresenta os resultados das regressões. A definição entre os modelos de dados

em painel ocorreu levando em consideração: i) O teste F; ii) O teste de Hausman; iii) Equilíbrio dos dados no painel. Os critérios anteriores indicaram o modelo de efeito fixo.

Tabela 2 - Estimação dos determinantes da emissão de CO<sub>2</sub> provenientes do consumo de energia elétrica em função da renda *per capita*.

Variáveis	Modelo de Efeitos Fixos (MEF)	Modelo de Efeitos Aleatórios (MEA)
PIB	-3,948.0388*** (1,362.9384)	-1,545.9485*** (1,903.9394)
PIB <sup>2</sup>	0.845*** (0.0792)	0.728** (0.0694)
PIB <sup>3</sup>	-0.0000*** (0.0000)	-0.0000* (0.0000)
Energias renováveis	1,648.384*** (3,9284.0384)	1,451.9452*** (3,938.0042)
Energias não renováveis	-8,592.9342** (2,4184.8334)	-6,253.0932* (1,993.9313)
Constante	1.1537e+08** (7.5730e+07)	1.0937e+08*** (6.2838e+07)
Nº de observações	135	135
Número de estados	27	27
R <sup>2</sup>	0.3021	0,3193
Teste Hausman		(0,0000)

Obs. 1: \*\*\* significativo a 1%, \*\* significativo a 5% e \* significativo a 10%. Obs. 2: Os números entre parênteses representam os valores dos testes t.

Os resultados explicitados na Tabela 2 do Modelo de Efeitos Fixos demonstram que todas as variáveis são estatisticamente significantes com a variável dependente. Analisando o coeficiente de determinação R<sup>2</sup>, ajustado do modelo de efeito fixo, percebe-se que cerca de 32% das variações nas emissões de CO<sub>2</sub> foram explicados por alterações nas variáveis citadas.

Assim como no primeiro modelo, o procedimento de análise da estimação de uma CKA compreende a análise dos sinais das variáveis explicativas e da magnitude do coeficiente da renda ao cubo. Segundo Grossman e Krueger (1995) a partir dos resultados obtidos, não é possível realizar inferência entre os valores dos coeficientes das variáveis explicativas com a variável dependente.

Em ambos os modelos, efeito fixo e efeito aleatório, os sinais dos coeficientes não são os esperados pela teoria para caracterizar a CKA com formato de U invertido. Ambos os modelos, que incluem a variável PIB ao cubo como variável explicativa adicional tem que o coeficiente dessa variável é zero, mas significativo, o que aponta para uma curva do tipo U. Desta forma, a ocorrência do movimento descrito pela CKA do atual modelo não está condicionada ao nível de renda.

Os resultados corroboram com Mahmoodi (2017) que verificou a relação entre o crescimento econômico, a energia renovável e a emissão de CO<sub>2</sub> para onze países em desenvolvimento entre os anos de 2000 até 2014, usando como variáveis: a emissão de CO<sub>2</sub>, o PIB e a geração eletricidade renovável, concluindo que a utilização de energias renováveis é um forte aliado para a redução da emissão de CO<sub>2</sub>. Consequentemente, contribuindo com hipótese da tendência da CKA ao longo prazo.

## 5. Considerações Finais

A equação estimada tem implicações importantes para analisar a relação entre o grau de poluição e o nível de renda *per capita* e constitui um bom instrumento para o Estado na formulação de políticas públicas e na tomada de decisões quanto à preservação do meio ambiente e crescimento econômico.

O objetivo desse artigo, portanto, foi investigar e mensurar a existência de uma relação entre o grau de poluição (medida pelas emissões de CO<sub>2</sub>) e a renda *per capita* no Brasil. Utilizando o modelo de dados em painel, para uma base de dados anual que vai de 2006 a 2014.

A Hipótese da CKA prevê que, ao longo do desenvolvimento econômico, a degradação exercida sobre o meio ambiente segue o formato de um “U-invertido”, crescendo inicialmente para, depois de um ponto de inflexão, cair nos estágios mais avançados de desenvolvimento. Esse fenômeno ocorre em função do desenvolvimento de tecnologias menos poluentes e mudanças na composição da produção, além de outros fatores, como uma elasticidade renda positiva para qualidade ambiental, maior conscientização da população sobre as consequências das atividades produtivas sobre o meio ambiente e maior rigidez de órgãos reguladores do meio ambiente.

Com base nos resultados obtidos e suas limitações, a resposta à questão de se a CKA se aplica ao caso brasileiro não é conclusiva. No caso de CO<sub>2</sub>, as evidências encontradas não corroboram o formato de “U-invertido” e, sim, com um formato de U. O que não descarta a possibilidade do Brasil em um estágio inicial da CKA para essa variável. Para consumo energético *per capita*, embora as evidências apontem que o país está seguindo na direção prevista pela Hipótese da CKA, existem diversos fatores de incerteza que impedem fazer inferências sobre o comportamento futuro da relação investigada.

Essa conclusão não impede que haja suposições importantes para a questão ambiental/energética no Brasil. A primeira diz respeito ao resultado de que, embora tenha havido uma estabilização da relação entre renda e consumo de energia final, as emissões de CO<sub>2</sub> crescem conforme a renda aumenta. O Brasil contribui de maneira efetiva para o problema do aquecimento global, já que seu processo de desenvolvimento tem feito com que se emita mais desse gás de efeito estufa no país. Para que houvesse um comprometimento em escala mundial para a diminuição de gases de efeito estufa, o Brasil teria que reverter essa tendência a partir de políticas públicas que priorizam o uso de fontes menos poluentes. Outra implicação se refere à especialização comercial brasileira, que enfatiza produtos que têm grande impacto sobre o meio ambiente tanto em relação à retirada de vegetação

nativa quanto ao atraso tecnológico dos processos em relação aos países desenvolvidos e que possuem baixo valor agregado.

## **BIBLIOGRAFIA**

ANDREONI, James; LEVINSON, Arik. The simple analytics of the environmental Kuznets curve. **Journal of public economics**, v. 80, n. 2, p. 269-286, 2001.

ANG, James B. CO<sub>2</sub> emissions, energy consumption, and output in France. **Energy policy**, v. 35, n. 10, p. 4772-4778, 2007.

BELKE, Ansgar; DOBNIK, Frauke; DREGER, Christian. Energy consumption and economic growth: New insights into the cointegration relationship. *Energy Economics*, v. 33, n. 5, p. 782-789, 2011.

CARBON BRIEF. “State of the climate: How the world warmed in 2020”. Disponível em: <https://www.carbonbrief.org/analysis-which-countries-are-historically-responsible-for-climate-change/>. Acesso em: 11 set 2022.

COLE, Matthew A. Trade, the pollution haven hypothesis and the environmental Kuznets curve: examining the linkages. **Ecological economics**, v. 48, n. 1, p. 71-81, 2004.

CUNHA, Cleyzer Adrian da. Curva de Kuznets Ambiental: Estimativa Econométrica Usando CO<sub>2</sub> e PIB per capita. In **Anais do XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural**. Rio Branco, 2008.

DASGUPTA, P. S.; HEAL, G. M. The optimal depletion of exhaustible resources. review of economic studies, symposium on the economics of exhaustible resources. **Edinburgh, Scotland**, 1974.

DALY, Herman E. Elements of Environmental Macroeconomics. In MUNASINGHE, Mohan. **Macroeconomics and the Environment**. UK e USA: Elgar, 2002.

DE ALMEIDA, Matheus Gama; LOBATO, Tarcísio da Costa. A curva de Kuznets ambiental para a região norte do Brasil entre os anos de 2002 a 2015. **Economia & Região**, v. 7, n. 1, p. 7-24, 2019.

DE PAULA, Luis Gustavo Nascimento; SAIANI, Carlos César Santejo. Relação desigualdade-renda no Brasil e em suas regiões: hipóteses da curva de Kuznets e do “N” para indicadores municipais em múltiplas dimensões. *Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos*, v. 13, n. 1, p. 45-72, 2019.



FONSECA, Nacif Fonseca; RIBEIRO, Pontual Ribeiro. Preservação ambiental e crescimento econômico no Brasil. In: **Anais do VII Encontro de Economia da Região Sul**, 2005. Porto Alegre: ANPEC, 2005.

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estudos avançados**, v. 21, p. 7-20, 2007.

GROSSMAN, Gene M.; KRUEGER, Alan B. Environmental impacts of a North American free trade agreement. **NBER, National Bureau of Economic Research Working Paper 3914**. Cambridge, MA, 1991.

GROSSMAN, Gene M.; KRUEGER, Alan B. Economic growth and the environment. **The quarterly journal of economics**, v. 110, n. 2, p. 353-377, 1995.

GYLFASON, Thorvaldur; HERBERTSSON, Tryggvi Thor; ZOEGA, Gylfi. A mixed blessing: natural resources and economic growth. **Macroeconomic dynamics**, v. 3, n. 2, p. 204-225, 1999.

GYLFASON, Thorvaldur. Natural resources, education, and economic development. **European economic review**, v. 45, n. 4-6, p. 847-859, 2001.

HAMAIDE, Bertrand. Sustainability and the Environmental Kuznets Curve Conjecture: An Introduction. *Sustainability*, v. 14, n. 12, p. 7372, 2022.

HOWITT, P. AGHION, P. **Endogeneous Growth Theory**. London, England, Cambridge Massachusetts: the MIT Press, 1998.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. "Summary for Policymakers." In: "Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change." Cambridge University Press, 2007.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. "A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change". Disponível em: <https://www.ipcc.ch/ar6-syr/> Acesso em: 11 set 2022.

KAMIEN, Morton I.; SCHWARTZ, Nancy L. Optimal exhaustible resource depletion with endogenous technical change. **The Review of Economic Studies**, v. 45, n. 1, p. 179-196, 1978.

KOUTSOYIANNIS, Anna. **Theory of econometrics**. 2.ed. New Jersey: Barnes & Noble Books, 1978.

KUZNETS, Simon. American Economic Association. **The American Economic Review**, v. 45, n. 1, p. 1-28, 1955.

LIDDLE, Brant; LUNG, Sidney. Age-structure, urbanization, and climate change in developed countries: revisiting STIRPAT for disaggregated population and consumption-related environmental impacts. **Population and Environment**, v. 31, n. 5, p. 317-343, 2010.

LUCENA, André Frossard Pereira de. **Estimativa de uma Curva de Kuznets Ambiental aplicada ao uso de energia e suas implicações para as emissões de carbono no Brasil**. 2005. 132f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

MAHMOODI, Majid. The relationship between economic growth, renewable energy, and CO2 emissions: Evidence from panel data approach. **International Journal of Energy Economics and Policy**, v. 7, n. 6, p. 96, 2017.

MISHAN, Edward J.; MISHAN, Ezra J. **The costs of economic growth**. London: Staples Press, 1967.

MORAIS, Alex Eugênio Altrão de. **A Curva Ambiental de Kuznets para emissão de CO2 no Brasil: uma análise com cointegração em painel**. 2019. 134 f. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada)- Universidade Federal de Ouro Preto, Mariana, MG, 2019.

MUNASINGHE, Mohan. Macroeconomics and the Environment. UK e USA: Elgar, 2002, pp. 353-376. Publicado originalmente: **The Quarterly Journal of Economics**, Vol. 110, No. 2, 1995.

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

MUELLER, Charles C. Problemas ambientais de um estilo de desenvolvimento: a degradação da pobreza no Brasil. **Ambiente e Sociedade**, ano I, no. 1, 1997.

PAO, Hsiao-Tien; TSAI, Chung-Ming. Modeling and forecasting the CO2 emissions, energy consumption, and economic growth in Brazil. **Energy**, v. 36, n. 5, p. 2450-2458, 2011.

SELDEN, Thomas M.; SONG, Daqing. Environmental quality and development: is there a Kuznets curve for air pollution emissions? **Journal of Environmental Economics and management**, v. 27, n. 2, p. 147-162, 1994.

SHAFIK, Nemat; BANDYOPADHYAY, Sushenjit. **Economic growth and environmental quality: time-series and cross-country evidence**. World Bank Publications, 1992

STERN, David I. International society for ecological economics internet encyclopaedia of ecological economics the environmental Kuznets curve. **Department of Economics, Rensselaer Polytechnic Institute**, 2003.

SOLOW, Robert. An Almost Practical Step Toward Sustainability', *Resources Policy*, 19 (3), September, 162-72. **INTERNATIONAL LIBRARY OF CRITICAL WRITINGS IN ECONOMICS**, v. 141, p. 45-55, 2002.

WOLF, Rayan; RODRÍGUEZ, Angel Manuel Benítez; DE MEDEIROS, Dayane Freitas; TEIXEIRA, Erly Cardoso. Estimativa da Curva de Kuznets ambiental para o Estado de Mato Grosso do Sul. **Investig. Agrar**, p. 124-135, 2019.

WU, F. *et al.* Industrial energy efficiency with CO2 emissions in China: A nonparametric analysis. **Energy Policy**, v. 49, p. 164-172, 2012.

ZHANG, Zongyong; HAO, Yu; LU, Zhi-Nan; DENG, Yuxin. How does demographic structure affect environmental quality? Empirical evidence from China. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 133, p. 242-249, 2018.