



ALINE HOFFMANN SILVA KARP

**ANÁLISE DA CONVERGÊNCIA DAS EMISSÕES DE GASES
DE EFEITO ESTUFA ENTRE 1992 E 2016 PARA OS ESTADOS
BRASILEIROS**

**LAVRAS – MG
2019**

ALINE HOFFMANN SILVA KARP

**ANÁLISE DA CONVERGÊNCIA DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA
ENTRE 1992 E 2016 PARA OS ESTADOS BRASILEIROS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Prof. Dr. Ednilson Sebastião de Ávila
Orientador

**LAVRAS – MG
2019**

ALINE HOFFMANN SILVA KARP

**ANÁLISE DA CONVERGÊNCIA DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA
ENTRE 1992 E 2016 PARA OS ESTADOS BRASILEIROS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

APROVADA em 24 de maio de 2019.
Prof.º Dr.º Ednilson Sebastião de Ávila DAE/UFLA
Prof.ª Dr.ª Paloma Santana Moreira Pais DAE/UFLA
Doutoranda Gabriela Rezende de Souza DRS/UFLA

Prof. Dr. Ednilson Sebastião de Ávila
Orientador

**LAVRAS – MG
2019**

*Dedico aos meus pais, Willian e Paula Emilia (in memoriam) por todo amor, carinho,
incentivo e por me ensinarem a nunca desistir dos meus sonhos.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, pelos presentes diários e forças pra chegar até aqui.

Aos meus pais, Willian e Paula Emilia (in memoriam) por acreditarem em mim quando eu mesma não acreditava e por me encorajarem nos momentos de fraqueza.

Ao meu irmão, Felipe, por ser meu exemplo acadêmico.

À toda minha família pelo suporte em todos os momentos e orações diárias.

Ao Antônio, pelo amor compartilhado, companheirismo, calma e conforto nos momentos difíceis.

Aos amigos e colegas, pelo incentivo a todo momento e muitos, por me inspirarem.

À Preserva Jr. pela experiência profissional que foi essencial para meu crescimento e amadurecimento.

Aos professores do Departamento de Engenharia por todo o conhecimento repassado durante os últimos anos.

Ao professor Dr. Ednilson Sebastião de Ávila pela disponibilidade e paciência de me orientar neste trabalho e transmitir todo o conhecimento necessário.

Finalmente, agradeço à Universidade Federal de Lavras, por todas as oportunidades e momentos proporcionados e compartilhados!

RESUMO

A preocupação com os impactos da poluição no meio ambiente e na sociedade vêm crescendo nos últimos anos e dessa forma os estudos sobre a relação entre degradação ambiental e crescimento econômico se tornaram frequentes. Entre esses, o que mais se destacou foi a aplicação da Curva Ambiental de Kuznets (CAK) a qual retorna uma curva em formato de “U” invertido entre emissões e renda, indicando que após certa renda as emissões tendem a diminuir. Muitos autores verificaram a ocorrência da Curva Ambiental de Kuznets, no entanto, algumas críticas a esta surgiram e outros modelos foram desenvolvidos como a convergência das emissões baseada no modelo de Solow por Brock e Taylor que presume que quando as emissões convergem ao estado estacionário, implicitamente ocorre o descrito pela Curva Ambiental de Kuznets. Tal modelo foi aplicado para os Estados brasileiros, tendo como metodologia estatística de Painéis Estáticos, com o objetivo de estimar a convergência das emissões totais brasileiras. A partir disso, verificou-se a ocorrência da convergência absoluta e condicional, sendo que na última obteve-se uma não conformidade ao modelo pela variável poupança per capita.

Palavras-chave: Modelo de Solow Verde; Modelo de Regressão; GEE; Crescimento Econômico; Economia Ambiental.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Curva Ambiental de Kuznets	15
Figura 2 – Dinâmica do modelo de Solow Verde.	23
Figura 3 – Emissões brutas anuais brasileiras de gás carbônico equivalente.....	32
Figura 4 – Média das emissões brutas anuais de gás carbônico equivalente para os setores da economia brasileira no período de 1992 a 2006.....	33
Figura 5 – Média das emissões brutas anuais de gás carbônico equivalente para as regiões brasileiras.....	34
Figura 6 – Média das emissões brutas per capita anuais de gás carbônico equivalente para os Estados brasileiros.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Média das emissões brutas anuais de gás carbônico equivalente para as regiões brasileiras e setores econômicos em t CO ₂ e.	35
Tabela 2 – Média das emissões brutas per capita anuais de gás carbônico equivalente para as regiões brasileiras.	36
Tabela 3 – Estatística descritiva das variáveis.....	37
Tabela 4 – Testes preliminares.	38
Tabela 5 – Estimação da equação de convergência.....	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	Emissões de gases do efeito estufa e seus impactos no meio ambiente	13
2.2	Modelos Matemáticos	15
2.2.1	Curva Ambiental de Kuznets	15
2.2.2	Modelo de Solow Verde	18
2.3	Cenário brasileiro de emissões de gases	20
3	METODOLOGIA	23
3.1	Modelo matemático	23
3.2	Especificação dos dados	25
3.2.1	Área de Estudo	25
3.2.2	Emissões de gases do efeito estufa	25
3.2.3	Taxa média de crescimento das emissões	26
3.2.4	Taxa de poupança	27
3.2.5	Taxa de depreciação efetiva	27
3.3	Estimação de dados via painel	27
3.3.1	Modelos de Efeitos Fixos e Aleatórios	29
3.3.2	Teste de Hausman	30
3.3.3	Teste de autocorrelação	30
3.3.4	Teste de heterocedasticidade	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1	Considerações Preliminares	32
4.2	Modelo de Convergência das Emissões	37
4.2.1	Testes preliminares	38
4.2.2	Estimação com Efeitos Fixos	39

5 CONCLUSÃO	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
APÊNDICES	50

1 INTRODUÇÃO

O constante progresso das atividades econômicas e diversos hábitos adquiridos pela sociedade como um todo têm causado impactos ao meio ambiente. Alguns destes são mais visíveis à população, como a questão da disposição de resíduos, enquanto outros não são tão perceptíveis, como é o caso da poluição do ar. A emissão de gases do efeito estufa (GEE), embora sejam tema discutido em jornais, possuem importância e mensuração pouco levantadas nas pesquisas.

Apesar da dificuldade de mensuração das emissões de GEE, o efeito deste no meio ambiente vem se tornando recorrente em forma de aquecimento global, seguido por derretimento de calotas polares e aumento dos níveis do oceano. Dentre os impactos causados pelos GEE que podem ser sentidos diretamente pela população está a redução da produção de alimentos básicos para o ser humano, além de causar poluição do ar afetando a saúde humana.

No momento em que esses impactos se tornaram prejudiciais à sociedade e surgiram diversos impasses e perturbações, iniciou-se uma maior preocupação e políticas para redução da emissão de gases do efeito estufa foram instauradas mundialmente, como forma de prevenção aos impactos ambientais e também sociais. Entre essas, destaca-se o Protocolo de Kyoto em 1997 que é visto como a principal política de redução de emissões e conscientização das nações envolvidas.

Muito se fala sobre a relação entre as emissões de poluentes e o crescimento econômico, muitas vezes argumentando que o desenvolvimento da economia gera maior emissão de gases. No entanto, alguns autores como Grossman e Krueger (1991) realizaram estudos sobre como o crescimento econômico poderia impactar positivamente no meio ambiente e reduzir as emissões de poluentes atmosféricos. Os resultados obtidos pelos autores foram positivos, de forma que se observou que após certo aumento de renda per capita verifica-se uma redução nos níveis de poluição, gerando uma curva em formato de U invertido quando relacionado a emissões e renda, denominando este formato como Curva Ambiental de Kuznets (CAK).

Diversos foram os estudos sobre verificação de ocorrência da CAK para diferentes localizações e tipos de poluição ambiental. Alguns autores como Panayotou (1993) e Kaufmann et al (1998) verificaram a presença do modelo. No entanto, alguns trabalhos com críticas à existência da CAK foram elaborados, incluindo De Bruyn (1997), um dos primeiros autores a criticar a curva, que afirmava que a esta não se sustenta a longo prazo. Além disso, outros autores criticaram o modelo utilizado e, dessa forma, modelos alternativos foram

desenvolvidos, entre eles o modelo de convergência das emissões, explorado por Brock e Taylor (2010) e apresentado como Modelo de Solow Verde, que foi desenvolvido de forma a aplicar a CAK à convergência das emissões e utilizar um modelo mais relevante.

O propósito deste trabalho é testar a convergência das emissões de gases de efeito estufa para os estados brasileiros por meio do Modelo de Solow Verde e a verificar a ocorrência da CAK de forma a determinar se esta é verificada no Brasil, ou seja, se as emissões brasileiras estão convergindo.

Este trabalho está dividido em cinco tópicos, incluindo esta introdução. No tópico 2 é feita uma revisão de literatura, abordando as emissões de gases do efeito estufa e seus impactos no meio ambiente, políticas ambientais com objetivo de redução de emissões, relação de poluição e crescimento econômico, modelos matemáticos que abordam tal relação e a realidade do cenário ambiental brasileiro. No tópico 3 é definida a metodologia utilizada, por meio do modelo de convergência de Brock e Taylor (2010). No tópico 4 são apresentados os resultados da pesquisa. Finalmente, no tópico 5, são expostas as principais conclusões originadas do desenvolvimento deste trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Emissões de gases do efeito estufa e seus impactos no meio ambiente

A discussão sobre poluição ambiental e a repercussão que esta poderia causar no meio ambiente se intensificou a partir do século XIX com o fortalecimento e crescimento do processo industrial dos países europeus. Entretanto, de acordo com Calsing (2005), foi somente após o século XX que os impactos ambientais começaram a receber as atenções das autoridades e as discussões sobre consequências da degradação ambiental se tornaram recorrentes, tais como a mensuração dos danos para o meio ambiente e saúde humana. Assim, verificou-se uma maior preocupação internacional tendo como tema a necessidade da criação de regulamentações.

O movimento ambientalista ganhou impulso em 1962 com a publicação do livro de Rachel Carson, “Primavera Silenciosa”, que fez um alerta sobre o uso agrícola de pesticidas químicos sintéticos, no qual a autora destacou a necessidade de respeitar o ecossistema em que vivemos para proteger a saúde humana e o meio ambiente.

De acordo com Rodrigues et al. (2016), essa preocupação internacional com o meio ambiente foi oficializada mundialmente em 1972, quando ocorreu a I Conferência das Nações Unidas, em Estocolmo, de forma a compreender os determinantes da degradação ambiental, iniciar uma conscientização ecológica e, principalmente, dar início a uma cooperação internacional para proteção do ar atmosférico. Este foi, então, o marco inicial do tratamento dos problemas ambientais e urgência da questão, com o encorajamento dos países e das ONGs para criação de medidas ambientais e busca pelo desenvolvimento sustentável.

O termo desenvolvimento sustentável foi tratado mundialmente pela primeira vez na Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento em 1987, que posteriormente publicou o relatório “*Our common future*”, trazendo o conceito de desenvolvimento sustentável como o desenvolvimento que encontra as necessidades atuais sem comprometer a habilidade das futuras gerações de atender suas próprias necessidades (United Nations, 1987).

O conceito de desenvolvimento sustentável foi tratado de uma forma mais regulamentar e multilateral após a realização da Agenda 21, em 1992, no Rio de Janeiro, que, de acordo com Sousa, Sousa e Santos (2016), possui como objetivo refletir sobre a necessidade da criação de um consenso global e um compromisso político de forma a preparar o mundo para os desafios do século, verificando uma necessidade de mudança da economia visto que o crescimento econômico mundial não estava de acordo com o desenvolvimento sustentável. Foi então que surgiu a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, que entrou em vigor em 1994, com o objetivo de melhoria do clima mundial e o início dos acordos climáticos no qual 182 países, incluindo o Brasil, se propuseram a estabilizar a concentração do gás

carbônico (CO₂) e discutirem as questões sobre mudanças climáticas anualmente (World Wide Fund for Nature, 2008).

Em 1997, surgiu o Protocolo de Kyoto, que foi instaurado somente em 2005 com o objetivo de evitar o aquecimento global e mensurar a redução, até 2012, das emissões dos gases do efeito estufa (ozônio, dióxido de carbono, metano, óxido nitroso e monóxido de carbono) que foi estabelecida em 5,2% em relação aos níveis emitidos em 1990. É importante ressaltar que dentre os maiores emissores de GEE somente os Estados Unidos não ratificaram o Protocolo.

É relevante evidenciar que, de acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2019), o efeito estufa é um fenômeno natural que possibilita a vida humana na Terra o qual permite que parte da energia solar seja acumulada na superfície e na atmosfera terrestre, aumentando a temperatura do planeta. Isso só acontece devido a ação do dióxido de carbono (CO₂), CFCs, metano, óxido nitroso e vapor de água, que formam uma barreira contra a dissipação da energia solar. A maioria dos cientistas climáticos creem que um aumento na quantidade desses gases provoca uma elevação da temperatura da Terra.

Esta elevação é o conhecido aquecimento global, um fenômeno climático causado por agentes naturais ou antropogênicos que, além do superaquecimento da Terra, gera diversas consequências. Entre essas, pode-se citar o derretimento das calotas polares que provoca elevação dos níveis dos mares, por consequência, inundação e destruição de terras costeiras. Também, aumenta os fluxos de água nos rios, provocando erosão de solos e enchentes, aumentando o ritmo das chuvas e furacões, agravando a situação das regiões semiáridas e desérticas; além de causar repercussões negativas na produção agrícola, alterações no equilíbrio do ecossistema, entre outros (Calsing, 2005).

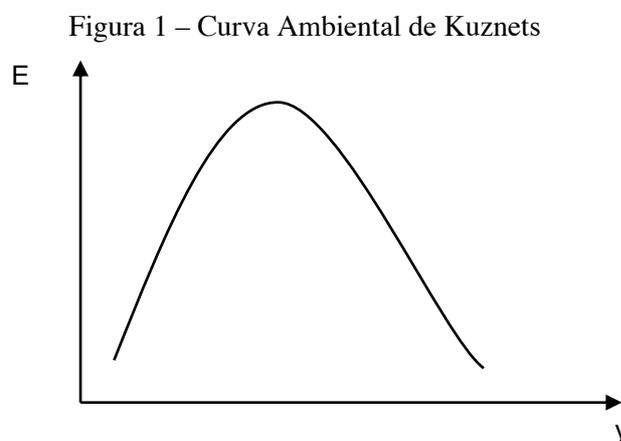
Com constante preocupação sobre o aumento da temperatura da Terra, o relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) realizado em 2018 relata sobre a necessidade de limitar o aquecimento global a 1,5 °C, desde o período pré-industrial, o qual possui como principal causa emissão de gases de efeito estufa oriundos da atividade humana. Ainda, o relatório argumenta sobre a necessidade de um fortalecimento da resposta global à ameaça da mudança climática, do desenvolvimento sustentável e dos esforços para erradicar a pobreza.

2.2 Modelos Matemáticos

2.2.1 Curva Ambiental de Kuznets

A discussão sobre relação entre crescimento econômico e meio ambiente foi iniciada por Meadows et.al. (1972) na década de 70. Foi criado um modelo para estudar cinco grandes tendências da época: a industrialização acelerada, rápido crescimento populacional, expansão da desnutrição, esgotamento de recursos não renováveis e deterioração do meio ambiente. Tal modelo defendia que o crescimento econômico seria restrito devido à limitação dos recursos naturais, porém, foi considerado pelos autores, simplista demais e inacabado.

Anos depois, a aplicação da Curva Ambiental de Kuznets (CAK) ocorreu pela primeira vez de forma a relacionar renda e poluição. Anteriormente, Kuznets (1955) iniciou os estudos com a especulação de uma possível relação entre desigualdade de renda e crescimento econômico, obtendo, assim, um gráfico em forma de “U invertido” conforme indicado na Figura 1. Esse formato de gráfico indicava que quando uma determinada quantidade de renda per capita fosse atingida, ocorreria uma maior igualdade social. Isso foi verificado, principalmente para países em desenvolvimento. No entanto, Kuznets (1955) afirmou que seu estudo foi 95% especulação e somente 5% empírico, e por isso necessitava de melhorias e estudos posteriores.



Fonte: Elaborado pelo autor

Como forma de aplicar o estudo de Kuznets, Grossman e Krueger (1991) utilizaram, pela primeira vez, esse modelo com o objetivo de verificar que o crescimento econômico poderia impactar o meio ambiente, e para isso avaliaram a qualidade do ar. O estudo foi realizado para cidades de 42 países, nos quais foram medidos os níveis de poluição do ar com base nas concentrações de dióxido de enxofre (SO_2), fumaça e material particulado. Os autores verificaram um gráfico em formato de “U” invertido quando relacionou-se a qualidade do ar

com o PIB dos países, ou seja, para um determinado valor de PIB e valores maiores, os níveis de poluição diminuem.

Ainda, Panayotou (1993) foi quem nomeou o modelo de Curva Ambiental de Kuznets (CAK) e o aplicou para desmatamento e poluentes ambientais como SO_2 , NO_x e material particulado e comprovou a existência da CAK para esses aspectos em 55 países desenvolvidos. Além disso, o autor sugere que os governos de países desenvolvidos podem auxiliar no alcance do ponto de inflexão da CAK eliminando as corrupções nas políticas ambientais, internalizando os custos ambientais das atividades que degradam o meio ambiente e definindo e impondo direitos de propriedade sobre os recursos naturais.

Shafik e Bandyopadhyay (1992) aplicaram a CAK utilizando 10 diferentes indicadores de qualidade ambiental, entre eles: níveis de Partículas Suspensas (SPM), Dióxido de Enxofre (SO_2) e emissões de gás carbônico per capita. E, além de considerarem somente a renda per capita como variável, também foi levado em consideração fatores como clima, localização, tecnologia e políticas ambientais, uma vez que a última influencia diretamente a degradação ambiental. Tal estudo foi realizado para 149 países e o período dos dados analisados foi entre 1960 e 1990. Para as concentrações de Partículas Suspensa e Dióxido de Enxofre confirmou-se a teoria da CAK, o que, de acordo com os autores, por se tratar de poluição do ar, gerar impactos locais e possuir baixo custo para redução, apresentam gráfico quadrático e o ápice de degradação e posterior redução são atingidos para níveis de renda médios.

Da mesma forma, Selden e Song (1994) realizaram a aplicação da CAK para quatro poluentes: Dióxido de enxofre (SO_2), Partículas Suspensas (SPM), Óxido de Nitrogênio (NO_x) e Monóxido de Carbono (CO). Comprovou-se, novamente, a existência do “U invertido” quando utilizados dados de emissões agregados, porém o *turning point* (ponto da curva em que a degradação ambiental diminui com o aumento da renda) encontrado foi maior do que os estudos previamente realizados, sendo para uma renda de \$8.709,00 per capita. Ainda, os autores previram um aumento das emissões globais num futuro imediato e, nos cenários mais otimistas que as emissões não retornarão aos níveis atuais antes do fim do próximo século, a não ser que sejam tomadas ações de modo que não siga a série histórica de relação entre PIB e emissões. Tal ponto levantado é devido ao fato da maioria dos países não terem atingido ainda os pontos de inflexões da curva, influenciado pelas emissões, crescimento do PIB e população.

Panayotou (1997) cita que a localidade da região em estudo tem grande poder na redução da degradação ambiental, pois se for mais próspera possui maiores condições de investimento em infraestrutura ambiental, tecnologias sustentáveis e políticas e instituições ambientais para vistoriar as atividades. Além disso, o autor ainda questiona sobre as variáveis

que influenciariam na qualidade do meio ambiente, se seria o crescimento da renda ou a velocidade com que o *turning point* é alcançado.

Fonseca (2003) ressalta que uma das principais causas de ocorrência do *turning point*, é o crescimento econômico, que permite implementação de tecnologias novas e “limpas”. O autor também evidencia uma necessidade de conscientização do cidadão que busca preservação do meio ambiente e exige do governo a implementação de legislações e políticas ambientais, bem como sua fiscalização de forma mais rígida.

Do mesmo modo, Fonseca (2003) assegura suas afirmações com os argumentos citados por Bousquet e Favard (2000) que infere a existência de três efeitos sobre o meio ambiente da CAK, efeito de escala, composição e técnicos, embasados na preferência por qualidade ambiental e tecnologias sustentáveis.

Outros autores comprovam a existência da CAK para diversos países, sendo a maioria países desenvolvidos. Hilton e Levinson (1998) estudaram a poluição gerada pelos automóveis para 48 países durante 20 anos. Kaufmann et al (1998) analisaram a emissão de SO₂ para 23 países, sendo 13 desenvolvidos, 7 em desenvolvimento e 3 economicamente planejados e verificam o formato de U invertido, porém, com concentrações de emissões mais elevadas para países em desenvolvimento, sendo explicada por uma economia com baixos valores de PIB ou população elevada.

Após diversos estudos apresentarem resultados desfavoráveis à CAK, Auci e Beccheti (2006) ajustaram um modelo capaz de comprovar a existência da CAK para uma relação de emissões de CO₂ e PIB de uma série de 173 países. Os autores verificaram também que baixos PIB per capita geram altas concentrações de emissões nos *turning points* e que a evolução da degradação ambiental está diretamente ligada aos insumos e produtos do setor industrial.

Apesar de tantos estudos comprovarem a existência da CAK outros apresentaram resultados não esperados, assim, alguns autores começaram a contestar a teoria. Iniciando por Stern, Common e Barbier (1996) relataram que o conceito, a implementação empírica e a utilidade da Curva eram limitadas ao todo de uma estatística descritiva e possuíam alguns problemas de estimação como heterocedasticidade, uma variância de erro não constante, que poderia ser corrigida com estimações técnicas apropriadas.

A partir disso, diversos autores desenvolveram estudos criticando e comprovando a não existência empírica da CAK. De Bruyn (1997) afirmou que a curva não se sustenta a longo prazo e que a forma de “U” invertido seria o estágio inicial da relação entre degradação ambiental e crescimento econômico. O autor ainda afirma que não existem modelos que podem

ser utilizados na estimativa e que as causas da redução da poluição necessitam ser analisadas de uma forma mais técnica, como a decomposição para quantificar a influência da tecnologia.

Posteriormente, Stern (2004) fez uma crítica a CAK de um ponto de vista teórico dizendo que há poucas evidências de que os países seguem uma curva em formato de “U” invertido de emissões conforme suas riquezas aumentam, sugerindo que os dados e séries devem ser testados e analisados de forma mais rigorosa por métodos mais adequados. O autor ainda citou a possibilidade de uma nação, com uma riqueza per capita menor, dotar uma tecnologia como forma de redução de poluição e se equiparar em emissões com uma nação com riqueza per capita maior, de forma que as emissões reduzam em ambas, o que não estaria de acordo com os princípios da CAK.

No Brasil, alguns estudos recentes foram realizados a fim de comparar crescimento econômico e degradação ambiental, entre eles o de Fonseca (2003) o qual utilizou como variável ambiental o percentual das áreas estaduais preservadas. Este estudo sugeriu uma relação positiva entre criação de Unidades de Conservação e crescimento econômico dos estados, porém, não concluiu existência ou não da hipótese de Kuznets. No entanto, o trabalho realizado por Gomes e Braga (2008) analisou a variável taxa de desmatamento da Amazônia Legal e, utilizando modelagem de dados em painel para efeitos aleatórios, observou a existência da CAK para a função cúbica.

Ainda, Serrano, Loureiro e Nogueira (2015) também relacionaram o produto per capita com a emissão de CO₂ provenientes do consumo de petróleo no Brasil, verificando influência entre as variáveis. Desse modo, comprovou-se a hipótese de Kuznets, sendo possível considerar o modelo globalmente significativo.

Os autores citados acima realizaram pesquisas empíricas em relação a CAK, alguns deles, como Stern (2004) e De Bruyn (1997) fizeram críticas quanto ao modelo matemático e ferramentas estatísticas utilizadas. Sendo assim, outros autores verificaram a necessidade e iniciaram estudos de forma a abordar a CAK de uma maneira mais teórica e embasada estatisticamente.

2.2.2 Modelo de Solow Verde

Dentre os estudos realizados de relação da economia com degradação ambiental, existiam dois tipos de modelos: a CAK e a convergência das emissões. O modelo de Solow Verde é o desenvolvimento do segundo tipo, desenvolvido por Brock e Taylor (2010) de forma a replicar implicitamente a CAK. Tal estudo objetivou determinar a convergência das emissões

a qual indica, no início, um alto crescimento das emissões devido a um alto crescimento econômico e posterior decaimento juntamente com uma estabilidade econômica.

Ainda, Brock e Taylor (2010) sustentaram que o modelo de Solow Verde oferece uma estrutura teórica que liga a força da convergência a variáveis observáveis, faz conexões explícitas e testáveis entre a teoria e o trabalho empírico e oferece um novo método para aprender sobre o crescimento e a relação ambiental. Assim, o modelo pode fornecer respostas baseadas em evidências sobre como as diferenças nas taxas de poupança e nas intensidades de redução afetam as taxas de crescimento das emissões; como as diferenças nas taxas de crescimento populacional afetam as emissões a longo e curto prazo; e como a convergência das emissões nos países desenvolvidos e em desenvolvimento provavelmente continuará, mesmo sem um acordo como Protocolo de Kyoto. Dessa forma, um dos principais resultados evidenciados por Brock e Taylor (2010) é a profunda relação que o modelo de Solow Verde possui com a CAK.

A ideia de convergência foi inicialmente estudada por Solow (1956) utilizando renda per capita como variável e nomeada como Modelo de Solow, no qual o autor prevê que países ou regiões com níveis de renda per capita mais baixos cresçam mais rapidamente do que os de alto nível e possam chegar aos mesmos níveis de renda. Sendo assim, diversos autores utilizaram do princípio de convergência de Solow para aplicá-lo em seus estudos, sendo o pioneiro realizado por Barro e Sala-i Martin (1992). Estes autores testaram a convergência empiricamente, construindo um modelo de crescimento neoclássico dos níveis de renda da população dos estados norte americanos, e evidenciaram convergência em toda a amostra, quando a composição setorial e as variáveis da região são controladas.

Outros autores realizaram estudos sobre o Modelo de Solow como convergência dos níveis de renda e pesquisadores exploraram aplicações da convergência das emissões de poluentes, relacionando-o com degradação ambiental. Assim, List (1999) realizou o primeiro estudo no qual avaliou poluições por NO_x e SO_2 para regiões dos Estados Unidos verificando uma convergência dessas emissões no período de 1929 a 1994.

Posteriormente, List (1999) realizou estudos juntamente com diversos autores a fim de explorar as séries temporais e suas propriedades de diversos poluentes. Strazicich e List (2003) examinaram as propriedades de convergência das emissões de CO_2 em um painel de 21 países industrializados de 1960 a 1997, utilizando tanto regressões entre países quanto testes de séries temporais, e concluíram que há evidências significativas de que as emissões de CO_2 per capita convergiram. Ainda, testes sofisticados de séries temporais foram empregados por Lee e List (2004) e Bulte, List e Strazicich (2007) e novas fontes de dados foram analisadas, verificando,

para os estados norte americanos uma convergência nas emissões de NO_x e SO_2 , além disso verificou-se que essa convergência pode se fortalecer nos últimos 30 anos.

Acar e Lindmark (2017) verificaram que há convergência de emissões de CO_2 a partir de combustão de carvão e óleo para os países pertencentes à Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento (OECD). A convergência das emissões a partir de óleo é mais intensa do que a do carvão, o que é explicado pelas diferentes formas de emissão que são realizadas, ressaltando a importância da tecnologia e estrutura econômica dos países. Além disso, houve um aumento da rapidez com que ocorre a convergência após os anos 90, explicado pelo crescimento da preocupação com políticas ambientais e climáticas. Sendo assim, os autores concluíram que os modelos de emissões de CO_2 podem ser sensíveis ao período utilizado no estudo.

O modelo desenvolvido por Brock e Taylor (2010) foi aplicado por Ávila e Diniz (2015) que confirmam a convergência das emissões de CO_2 para uma série de 99 países, porém verifica-se ainda, a necessidade de políticas ambientais mesmo com um crescimento constante de emissões devido ao fato de o modelo não mensurar as emissões. No entanto, os autores citam duas limitações do modelo, o fato de considerar nulos os custos de abatimento de carbono e a não determinação, do modelo unicamente, do cálculo empírico do ponto de inflexão. Ainda, Ávila e Diniz (2015) possuíram como principal objetivo verificar a conformidade citada por Brock e Taylor (2010) de que a CAK existe, implicitamente, quando ocorre convergência de emissões. No entanto tal resultado não foi obtido uma vez que ao estimar-se a CAK obteve-se uma curva no formato de “N”.

Lopes e Diniz (2014) aplicaram também o modelo de Solow Verde e confirmam a convergência da pegada ecológica para uma base de dados de 91 países, e partindo do pressuposto de Brock e Taylor (2010), validaram a hipótese da CAK através de modelos em painel estático e dinâmico.

2.3 Cenário brasileiro de emissões de gases

Em vista do crescente aumento dos danos ao meio ambiente, verifica-se a necessidade da criação de políticas de forma a reduzir estes impactos. Assim, em 1981, foi criada Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), regida pela Lei nº 6.938/1981 e que de acordo com o Art. 2,

tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento sócio-econômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana (Brasil, 1981, p.1).

É importante ressaltar que antes mesmo da publicação da Lei sobre a PNMA, foi criada a Portaria do Ministério do Interior de nº 231, de 27 de abril de 1976, visando estabelecer padrões nacionais de qualidade do ar. Porém, verificou-se a necessidade da criação de um programa para monitoramento do ar atmosférico brasileiro e por meio da resolução do CONAMA nº 05, de 15 de junho de 1989, foi criado o Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar (PRONAR) que foi alterado após a criação da CONAMA 491/18 se tornando mais restritiva com relação a concentração de poluentes no ar. A criação tinha como intuito promover a orientação e controle da poluição atmosférica no país, envolvendo estratégias de cunho normativo, como o estabelecimento de padrões nacionais de qualidade do ar e de emissão na fonte. Também, a implementação de uma política de prevenção de deterioração da qualidade do ar, a elaboração da rede nacional de monitoramento do ar e o desenvolvimento de inventários de fontes e poluentes atmosféricos prioritários.

Como decorrência do PRONAR, foi criada a resolução CONAMA nº 03, de 28 de junho de 1990, estabelecendo novos padrões nacionais de qualidade do ar e exigindo em seu Art. 2 Inciso VI que seja realizado um Plano de Controle de Emissões Atmosféricas, um documento no qual deve conter

identificação de fontes de emissões atmosféricas, diretrizes e ações, com respectivos objetivos, metas e prazos de implementação, visando ao controle da poluição do ar no território estadual ou distrital, observando as estratégias estabelecidas no Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar – PRONAR (Brasil, 2018, p.1).

Posteriormente, outras legislações foram criadas de forma a definir limite de emissões de poluentes atmosféricos como a resolução CONAMA nº 382/06 e a CONAMA nº 436/11 criadas de forma a realizar o controle de emissões das fontes fixas. É importante ressaltar ainda que o Brasil ratificou o Protocolo de Kyoto em agosto de 2002 tendo sua aprovação interna se dado pelo Decreto Legislativo nº 144 de 2002.

Também se criou legislações de forma a controlar as emissões de gases poluentes pelas fontes móveis. Dessa forma, em 1986 foi criado o Programa de Controle de Poluição do Ar por veículos automotores (PROCONVE) pela CONAMA nº 18/86 e em 1993 com a Lei 8.723/1993 foi determinado que deveria ocorrer uma redução de emissão de poluentes por veículos automotores. Tais legislações foram alteradas e incluiu-se outras exigências através da Resolução nº 490 de 16 de novembro de 2018.

Assim, verifica-se uma preocupação do Governo com a poluição atmosférica. No entanto, uma pesquisa realizada pelo IBGE em 2017 com todos os estados brasileiros a fim de determinar quais seriam os temas prioritários a serem tratados pelo governo não demonstrou

preocupação dos Estados. Entre os temas haviam alguns relacionados ao meio ambiente como qualidade do ar e mudanças climáticas; este foi indicado somente pelo estado do Paraná como prioridade; também, o controle de queimadas foi apontado pelo Amazonas e Tocantins (IBGE, 2017).

Quanto a economia, o Brasil, no ano de 2016, se encontrava na posição 71^a do ranking mundial de PIB per capita, com um valor de aproximadamente U\$ 8.649,00 considerando os países reconhecidos pela ONU, estando atrás de países como México, Argentina e Chile. No entanto, quando se analisa o PIB unicamente, o Brasil se encontra entre as 15 maiores economias do mundo, na 8^a posição com um PIB de US\$ 2.238 bilhões (World Economic Outlook, 2017). Dentre os setores econômicos brasileiros, segundo o IBGE, no terceiro trimestre de 2018, o setor de serviços (que inclui o comércio) representou 73,1% do valor adicionado ao PIB brasileiro, a indústria alcançou os 22,7% e a agropecuária 4,2% (IBGE, 2018).

O crescimento do PIB é fruto do crescimento das atividades, e dessa forma, ocorre um aumento, também, das emissões de gases poluentes visto que as emissões brutas de GEE medidas em gás carbônico equivalente aumentaram de 1,7 bilhão de toneladas para 2,27, um aumento de 32%. Contudo, a trajetória das emissões é de crescimento e redução nesse período pois em 1995 era de 2,78 bilhão de toneladas, em 2004, 3,9 bilhão e 1,92 em 2010 (SEEG, 2018).

De forma a estreitar a parceria dos Estados brasileiros nas políticas de redução das emissões de gases do efeito estufa, o Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC, 2017) apresentou o Sistema de Registro Nacional de Emissões (Sirene), uma ferramenta desenvolvida para ampliar o conhecimento científico, identificar o perfil das emissões e a adotar de medidas de mitigação.

Assim, pode-se inferir que as legislações e programas a serem aplicados divergem com relação a primazia final dos Governos Estaduais e Brasileiro como um todo, uma vez que as legislações e programas são restritivos com relação às emissões contudo não há preocupação da sociedade e Governos Estaduais. Dessa forma, verifica-se a necessidade de maiores discussões sociais sobre o impacto de certas atividades no meio ambiente, economia e sociedade.

3 METODOLOGIA

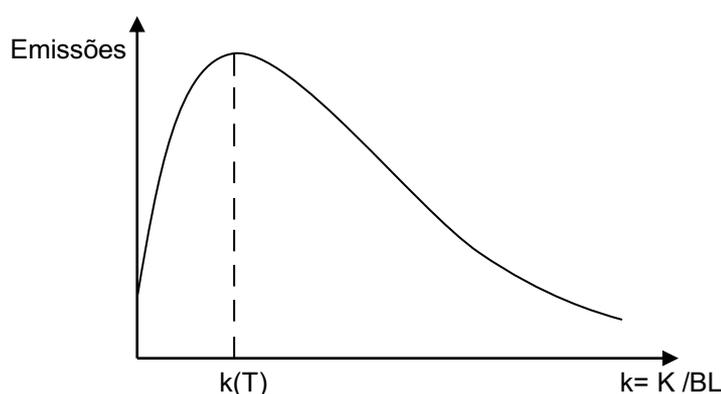
3.1 Modelo matemático

O modelo matemático utilizado foi o apresentado por Brock e Taylor (2010) utilizando como base o Modelo de Solow, realizado em 1956, devido ao fato de permitir que, indiretamente, a Curva Ambiental de Kuznets seja testada, relacionando crescimento econômico e degradação do meio ambiente.

Brock e Taylor (2010) utilizaram como base uma função na qual o produto (Y) é uma função do capital físico (K) no qual L representa o trabalho e B é progresso tecnológico, exemplificada pela Equação 1 e Figura 1 a seguir:

$$Y = F(K, BL) \quad (1)$$

Figura 2 – Dinâmica do modelo de Solow Verde.



Fonte: Brock e Taylor (2010).

Na Figura 1 é evidenciado o comportamento das emissões em relação à renda (k) no qual do ponto de origem do gráfico até o ponto $k(T)$ verifica-se um crescimento das emissões, uma taxa positiva; já no ponto $k(T)$ essa taxa de crescimento é zero e considerado o ponto de inflexão do gráfico. Conforme a renda aumenta, após $k(T)$, a taxa de crescimento das emissões é negativa e o momento em que se verifica o crescimento sustentável e a convergência das emissões. Tal gráfico é muito similar à Curva Ambiental de Kuznets.

Após detalharem e trabalharem de forma minuciosa equação acima, Brock e Taylor (2010) definiram a equação final de determinação de um modelo de convergência de renda e degradação ambiental:

$$\frac{1}{N} \log\left(\frac{e_{it}^c}{e_{it-N}^c}\right) = \beta_0 + \beta_1 \log(e_{it-N}^c) + \beta_2 \log(s_{it}) + \beta_3 \log(1 - \theta_i) + \beta_4 \log[(n + g_B + \delta)_i] + \mu_{it} \quad (2)$$

Sendo que a variável N indica o tamanho da dimensão temporal, e_{it}^c o nível de emissões, e_{it-N}^c a emissão defasada ou emissão no período inicial, s_{it} a taxa de poupança, θ_i o custo de abatimento da poluição, n a taxa de crescimento populacional, g_B a taxa de crescimento tecnológico a longo prazo, variando entre 3% e 4% (Romer, 2001) e δ a taxa de depreciação constante, variando entre 1% de 2% (Romer, 2001).

Desta forma, a equação acima relaciona as variações nas emissões per capita de cada local a uma constante e ao nível inicial de emissões per capita.

O termo θ_i é muito discutido por Brock e Taylor (2010) pois apesar de verificado que mudanças permanentes nas políticas ambientais aumentam o valor do parâmetro, a variação entre os diferentes países observados foi baixa e em um intervalo de 1 a 2%. Portanto, pode-se desconsiderar o termo da equação e o coeficiente β_3 que mede o efeito do aumento da participação da atividade não mitigadora de poluição. Sendo assim, a equação se resulta na seguinte:

$$\frac{1}{N} \log\left(\frac{e_{it}^c}{e_{it-N}^c}\right) = \beta_0 + \beta_1 \log(e_{it-N}^c) + \beta_2 \log(s_{it}) + \beta_4 \log[(n + g_B + \delta)_i] + \mu_{it} \quad (3)$$

Na qual, β_0 revela a característica do local em questão e pode possuir sinal positivo ou negativo, β_1 indica a velocidade com que a convergência ocorre e espera-se que seja negativo, β_2 evidencia o efeito da poupança e deve ser positivo e β_4 representa o coeficiente de depreciação efetiva e deve ser negativo (Lopes e Diniz, 2014).

Empiricamente, a convergência ocorre quando o sinal de β_1 for negativo, porém as demais variáveis funcionam como controle para o estado estacionário de diferentes países ou regiões.

Assim, pode-se inferir que a emissão defasada (e_{it-N}^c) possui uma relação negativa com a taxa de crescimento das emissões, de forma que baixas emissões e_{it-N}^c implicam em um rápido crescimento da taxa de emissões ($\frac{1}{N} \log\left(\frac{e_{it}^c}{e_{it-N}^c}\right)$).

Já a relação entre taxa de crescimento das emissões e poupança (s_{it}) é positiva, de maneira que conforme a taxa da poupança aumenta, as emissões também. Porém é importante

ressaltar que esta não possui efeito no crescimento de longo prazo das emissões, mas em uma economia com alta taxa de poupança o ponto de inflexão ocorre a um nível mais alto de renda. Isso resulta em um período de crescimento mais demorado, e então as emissões seguem uma trajetória descendente.

A depreciação efetiva $[(n + g_B + \delta)_i]$ possui uma relação negativa com a taxa de crescimento das emissões. Aquela leva em consideração a taxa de crescimento da população, taxa de crescimento tecnológico e taxa de depreciação constante, que consequentemente, possuem a mesma relação negativa. Como o valor das duas últimas são constantes (Romer, 2001), utiliza-se como principal variável a taxa de crescimento da população que, conforme aumenta, ocasiona um aumento na taxa de crescimento do produto na economia e, o tal crescimento aumenta o nível das emissões. No entanto, o desenvolvimento tecnológico (g_B), pode ter efeitos ambíguos sobre as emissões, o que pode aumentar ou diminuir o pico das emissões e consequentemente um ponto de inflexão de renda maior ou menor.

A convergência pode ser determinada de forma absoluta ou condicional sendo que a primeira leva em consideração somente as emissões com base na taxa de crescimento das emissões $\left(\frac{1}{N} \log\left(\frac{e_{it}^c}{e_{it-N}^c}\right)\right)$ e na emissão defasada (e_{it-N}^c) sendo representada pela Equação 4. Além dessas, a segunda também analisa a média da poupança (s_{it}) e a taxa de depreciação efetiva (dep_{it}) e é determinada pela Equação 5.

$$\frac{1}{N} \log\left(\frac{e_{it}^c}{e_{it-N}^c}\right) = \beta_0 + \beta_1 \log(e_{it-N}^c) + \mu_{it} \quad (4)$$

$$\frac{1}{N} \log\left(\frac{e_{it}^c}{e_{it-N}^c}\right) = \beta_0 + \beta_1 \log(e_{it-N}^c) + \beta_2 \log(s_{it}) + \beta_4 \log[(n + g_B + \delta)_i] + \mu_{it} \quad (5)$$

3.2 Especificação dos dados

3.2.1 Área de Estudo

Foram escolhidos os 26 Estados brasileiros e o Distrito Federal para o desenvolvimento do presente trabalho de forma a estimar o modelo de convergência das emissões e determinar se o Brasil se encontra em um momento convergente para as emissões de gases do efeito estufa.

3.2.2 Emissões de gases do efeito estufa

Foram utilizados dados referentes às emissões de gases do efeito estufa dos Estados brasileiros e Distrito Federal coletados por relatórios disponibilizados pelo Sistema de

Estimativas de Emissões e Remoções de Gases do Efeito Estufa (SEEG, 2019), uma iniciativa desenvolvida pelo Observatório do Clima. O Sistema possui dados para diferentes setores da economia brasileira: Agropecuária, Energia, Processos industriais, Resíduos e Mudança de uso da terra. Além disso são disponibilizados dados para diferentes gases do efeito estufa.

Dentre os dados disponibilizados, foi utilizado o CO₂ equivalente GWP-AR5. Primeiramente, o CO₂ equivalente leva em consideração as concentrações de todos os gases do efeito estufa, o GWP (Global Warming Potential) foi escolhido por considerar a influência dos gases na alteração do balanço energético da Terra e ser comumente usados nas estimativas de emissões e o AR5 é o que se enquadra na realidade do Brasi, além de ser utilizado pela INDC (Contribuição Nacionalmente Determinada) brasileira (SEEG, 2019).

É importante ressaltar que os dados de emissões disponibilizados pelo SEEG são estimados conforme a metodologia indicada no 3º Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases do Efeito Estufa, publicado pelo MCTI em 2016. Tais estimativas são realizadas por metodologias diferentes para cada setor da economia, sendo utilizados dados de uma atividade do setor que melhor represente as emissões. E, quando há identificação de lacunas de dados, são utilizados valores de referência, linhas de tendência, correlações de dados entre outros. A metodologia e os dados são validados em seminários técnicos, realizados com os especialistas e técnicos das instituições-membros do Observatório do Clima, com o objetivo de revisar as diferentes etapas de trabalho e buscar sempre maior precisão nas estimações (SEEG, 2019).

Dessa forma, foram coletados dados anuais para os 26 estados e Distrito Federal, no período entre 1992 e 2016, obtendo-se uma amostra, composta por 675 observações que foram organizadas em forma de painel e divididas em observações temporais. As variáveis que compõem o painel de dados são a taxa média de crescimento das emissões, taxa de poupança e a taxa de depreciação efetiva.

3.2.3 Taxa média de crescimento das emissões

A taxa média de crescimento das emissões ($txem_{it}$) foi determinada por meio dos dados disponibilizados pelo SEEG das emissões de gases do efeito estufa utilizando como base a Equação 6.

$$txem_{it} = \frac{1}{N} \log \left(\frac{e_{it}^c}{e_{it-N}^c} \right) \quad (6)$$

Em que N é o intervalo temporal das amostras, definido por 6; e_{it}^c é a emissão no instante final e e_{it-N}^c é a emissão no instante inicial ou emissão defasada.

3.2.4 Taxa de poupança

A taxa de poupança (s_{it}) foi medida por um *proxy*, devido à falta de dados sobre tal variável para os estados brasileiros. Sendo assim, foi utilizado o consumo de energia elétrica total, por se tratar de emissões totais, conforme indicado por Amorim et.al. (2008) e verificado por Oliveira (2006), confirmando o uso do *proxy* em trabalhos sobre crescimento.

Os dados de consumo de energia elétrica total no período entre 1992 e 2003 foram obtidos pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e entre 2004 e 2016 pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE). A taxa de poupança per capita foi calculada utilizando a média do consumo de energia total dividida pela população.

3.2.5 Taxa de depreciação efetiva

A taxa de depreciação efetiva (dep_{it}), foi calculada pela Equação 7, determinada por Brock e Taylor (2010) que consideram $g_B + \delta$ equivalente a 5% de acordo com os dados já definidos por Romer (2001).

$$dep_{it} = (n + g_B + \delta)_i \quad (7)$$

Ainda, supôs-se que as taxas de crescimento tecnológico (g_B) são comuns a todos os estados, e o conjunto de fatores que determinam o estado estacionário e a taxa de crescimento ao longo da trajetória de crescimento equilibrado são contabilizados levando em conta esta hipótese.

Os dados referentes ao crescimento populacional (n) foram determinados pela Equação 8, utilizando dados populacionais anuais coletados juntamente com o IBGE.

$$n_{it} = \frac{Pop_{i+T} - Pop_i}{Pop_i} \quad (8)$$

Em que, Pop_{i+T} é a população no instante final, de forma que $T=5$ e Pop_i é a população no instante inicial.

3.3 Estimação de dados via painel

A metodologia de dados em painel foi proposta e implementada para o estudo da convergência do crescimento, de forma que a sua principal utilidade é a capacidade de permitir diferenças na função de produção agregada entre as economias. Isso gera um resultado diferente daqueles obtidos a partir de regressões individuais, permitindo verificar o ponto em que o empirismo do crescimento neoclássico atende ao desenvolvimento da economia (Islam, 1995).

Além disso, tal metodologia permite trabalhar com uma amostra composta por dados ao longo do tempo e gera múltiplas observações. A estimação de dados via painel normalmente fornece um grande número de dados pontuais aumentando o grau de liberdade e reduzindo a colinearidade entre variáveis, além de melhorar a eficiência da estimação econométrica. Ainda, dados longitudinais permitem uma análise de um número de importantes questões econômicas que não podem ser atingidas usando *cross-section* ou séries temporais de dados (Hsiao, 2003). No entanto tal método possui limitações como a dependência entre as *cross-sections*, variáveis omitidas, problema na coleta de dados e seleção amostral.

A justificativa para a escolha da metodologia de estimação de dados via painel é o fato desta ser muito utilizada em trabalhos sobre convergência de emissões permitindo que resultados consistentes sejam gerados, conforme o ocorrido em estudos recentes realizados por Ávila e Diniz (2015) no qual foi verificado a convergência de emissões de gás carbônico para uma série de 99 países e Lopes e Diniz (2014) que também provaram a convergência da Pegada Ecológica para 91 países.

Assim, a metodologia utilizada se baseia no princípio de painéis estáticos, utilizando regressão linear múltipla, sendo modelados por painéis de Efeitos Fixos e Aleatórios. Alguns testes foram realizados a fim de definir qual o melhor modelo a ser utilizado como Teste de Hausman, Autocorrelação e Heterocedasticidade. Os modelos foram desenvolvidos no *software R* fazendo a utilização do pacote *plm* (Modelos Lineares para dados em Painéis).

A divisão temporal das amostras foi realizada conforme sugerido por Islam (1995, 2003), em intervalos de 5 anos. Assim, obteve-se 5 unidades de corte transversal: 1997, 2002, 2007, 2012, 2016; resultando-se assim em um painel de 135 observações. Neste caso, o painel estudado teve uma dimensão temporal (T) igual a 5, e uma dimensão de corte transversal (N) de 27, sendo considerado assim um Painel Curto ($N > T$) e um Painel Balanceado pelo fato de as unidades de corte transversal possuírem o mesmo número de observações.

O modelo básico de modelos de painéis lineares utilizado na econometria pode ser descrito de forma geral pela Equação 9.

$$y_{it} = \alpha_i + \beta_i' x_{it} + u_{it} \quad (9)$$

Na qual, $i = 1, 2, 3, \dots, n$ e é o índice individual, no caso, cada Estado brasileiro; α_i é o efeito individual de cada seção; $t = 1, 2, \dots, T$ e é o índice de tempo; β_i' é o efeito marginal individual de cada seção e u_{it} é o termo de interferência aleatória, o erro.

3.3.1 Modelos de Efeitos Fixos e Aleatórios

Os modelos de Efeito Fixos e Aleatórios são muito utilizados em trabalhos com o objetivo de verificar convergência por meio da metodologia de Brock e Taylor (2010). Além disso, possuem como forma básica a Equação 9 mostrada acima, sendo que para cada modelo os coeficientes são relacionados de formas diferentes e serão apresentados a seguir.

A principal diferença entre os modelos de Efeitos Fixos e Aleatórios está relacionada com a forma como os efeitos específicos individuais α_i são correlacionados com os regressores. Se há correlação de α_i com x_{it} , trata-se de Efeitos Fixos, se não, Efeitos Aleatórios. Sendo assim, nos modelos com Efeitos Fixos, a estimação é feita assumindo que a heterogeneidade dos indivíduos se capta na parte constante, que é diferente de indivíduo para indivíduo captando as diferenças invariantes no tempo. Nos Efeitos Aleatórios a estimação é feita introduzindo a heterogeneidade dos indivíduos no termo de erro u_{it} , considerando a constante como um parâmetro aleatório não observável (Gujarati e Porter, 2011).

Sendo assim, a Equação 7 pode ser reescrita como as equações abaixo para os dois modelos mencionados, sendo a Equação 10 para Efeitos Fixos e a Equação 11 para Efeitos Aleatórios.

$$y_{it} = \alpha_i + \beta' x_{it} + u_{it} \quad (10)$$

$$y_{it} = \alpha + \beta' x_{it} + (\eta_i \varepsilon_{it}) \quad (11)$$

Na qual $\varepsilon_{it} = \alpha_i + u_{it}$, o que determina o termo do erro que varia entre seções e unidades temporais; e, $\alpha_i = \alpha + \eta_i$ sendo que o termo η_i é referente ao parâmetro fixo quando trata-se de Efeitos Fixos e efeito aleatório individual para Efeitos Aleatórios. Ainda, considera-se que η_i e ε_{it} são independentes e identicamente distribuídos e assumindo que η_i e x_{it} não estão correlacionados.

É importante ressaltar que os modelos de Efeitos Fixos permitem que o coeficiente de intersecção seja diferente entre seções, ou seja, permite detectar diferenças que não mudam com o tempo. Este modelo apresenta como vantagem o fato de capturar as diferenças não observadas entre seções, mas tem como desvantagem a inclusão de variáveis *dummy* (variáveis explicativas que são nominais, qualitativas e binárias) que reduzem os graus de liberdade e fazem com que as estimativas do modelo sejam menos eficientes do que no modelo de Efeitos Aleatórios.

Já os modelos de Efeitos Aleatórios, apresentam como vantagem o fato de assumirem que os efeitos não observados (u_{it}) não estão correlacionados com o regressor, uma vez que estes efeitos são determinados aleatoriamente. Porém tem como desvantagem o pressuposto assumido de que pode não ser apropriado e a sua violação pode provocar estimativas enviesadas e inconsistentes. Nestes modelos, a estimação é efetuada assumindo que existe heterogeneidade entre as seções, através do termo do erro.

3.3.2 Teste de Hausman

De forma a definir qual o modelo mais adequado a se utilizar, Efeitos Fixos ou Aleatórios, Hausman (1978) propõe o seguinte teste da Equação 12.

$$H = (\hat{\beta}_{fe} - \hat{\beta}_{re})' (\hat{\Sigma}_{fe} - \hat{\Sigma}_{re}) (\hat{\beta}_{fe} - \hat{\beta}_{re}) \quad (12)$$

Em que $\hat{\Sigma}_{fe}$ e $\hat{\Sigma}_{re}$ são os coeficientes do declive das matrizes de covariância e os resultados podem ser duas hipóteses: H_0 na qual a diferença entre os coeficientes não é sistemática (efeitos aleatórios é mais adequado) e H_a quando a diferença entre os coeficientes é sistemática (efeitos fixos é mais adequado).

Quando o teste é realizado no software *R*, utiliza-se a função *phptest* na qual analisa-se o resultado do *p-valor*, que para um nível de significância 5%, quando *p-valor* for menor que 5%, rejeita-se a hipótese nula H_0 e define-se que a modelagem por Efeitos Fixos é mais adequada que por Efeitos Aleatórios.

3.3.3 Teste de autocorrelação

O Teste de autocorrelação também pode ser chamado de correlação serial, porém com algumas particularidades entre si. A autocorrelação é definida como correlação defasada de uma dada série consigo mesma, defasada em um número de unidades de tempo, já a correlação serial é a correlação defasada entre duas séries diferentes (Castaneda, 2013).

O teste tem como objetivo verificar a ocorrência de correlação serial que ocorre principalmente quando os dados são observados ao longo do tempo e, no caso de ocorrer uma *cross-section*, pode ocorrer omissão de uma variável relevante e as variâncias estimadas serão viesadas, geralmente, subestimadas.

O teste a ser aplicado foi o de Wooldridge (1991) para determinar a correlação serial dos erros idiossincráticos (erro que varia aleatoriamente para todos os indivíduos e períodos) do modelo de Efeitos Fixos. Tal teste foi aplicado por meio da função *pwartest* no software *R*.

A não existência de autocorrelação entre os resíduos é verificada quando o *p-valor* é maior que o nível de significância.

3.3.4 Teste de heterocedasticidade

Uma das suposições do teorema de Gauss-Markov é a homoscedasticidade, que requer que todas as observações da variável resposta (dependente) provenham de distribuições com a mesma variância. A heterocedasticidade é o oposto desta definição e não deve acontecer na análise estatística dos modelos de regressão, pois reduz a eficiência do modelo, além de invalidar a significância da regressão. Em muitas aplicações econômicas, a disseminação de y tende a depender de um ou mais regressores de x .

Na presença de heteroscedasticidade, os estimadores de coeficiente ainda são imparciais, mas sua variância é calculada incorretamente pelo método OLS usual, o que torna os intervalos de confiança e os testes de hipóteses incorretos também. Assim, novos métodos precisam ser aplicados para corrigir as variações, sendo um deles o método dos Mínimos Quadrados Factíveis.

A heterocedasticidade inicialmente pode ser verificada por meio da plotagem de gráficos de resíduos dos modelos aplicados. Se os pontos se encontram distribuídos aleatoriamente, sem mostrar um comportamento definido, há homoscedasticidade. Mas se existe alguma tendência (crescimento/decrescimento/oscilação), então há heterocedasticidade. Outra forma de determinação de heterocedasticidade e mais precisa é a utilização do Teste de Breusch-Pagan-Godfrey, com a função *bptest* no *software R* e como confirmação de heterocedasticidade, o *p-valor* deve ser menor que 5%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

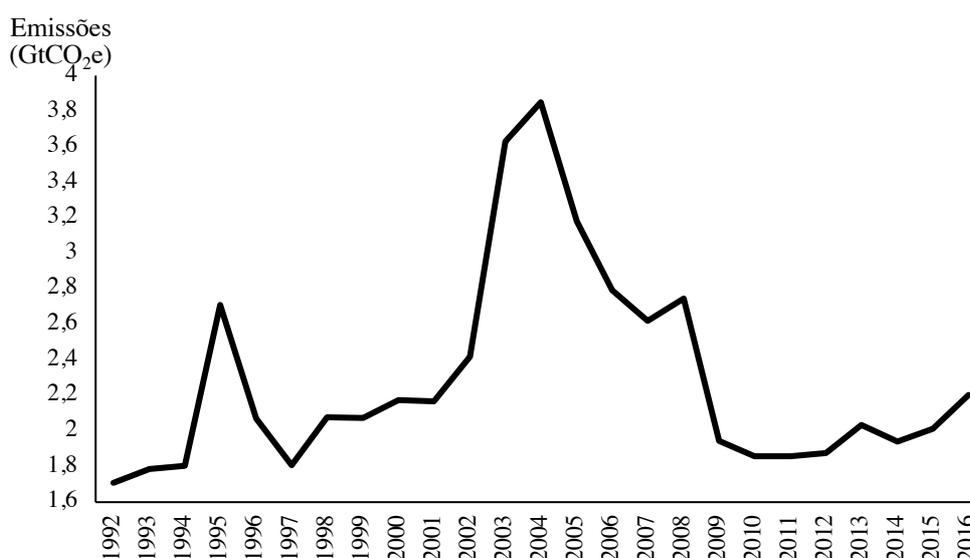
Neste tópico serão mostrados e analisados os resultados obtidos por meio da aplicação da metodologia descrita no Tópico 3. A primeira seção apresenta algumas considerações preliminares às aplicações da metodologia estatística e a segunda seção apresenta os resultados referentes ao modelo de convergência das emissões.

4.1 Considerações Preliminares

Segundo o SEEG, as emissões brutas de gases de efeito estufa do Brasil passaram de 1,72 bilhão de toneladas de gás carbônico equivalente (GtCO₂e) em 1990 para 2,27 GtCO₂e e 2016, o que representou um aumento de 32%. No entanto, a Figura 2, que representa análise gráfica dessas emissões indica variações ao longo dos anos, o que é explicado especialmente pelas alterações de uso da terra e florestas (principalmente a Floresta Amazônica).

Além disso, na Figura 2 é evidenciado um pico de emissões de 3,85 GtCO₂e no ano de 2004 quando também ocorreu pico de desmatamento da Amazônia Legal, 27.772 km² de acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2005). A queda acentuada nas emissões de 2004 a 2007 é explicada pela criação, ainda em 2004 do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAM), que até 2012 foi responsável pela redução de 82% das áreas desmatadas, contribuindo também, para a redução das emissões (INPE, 2015).

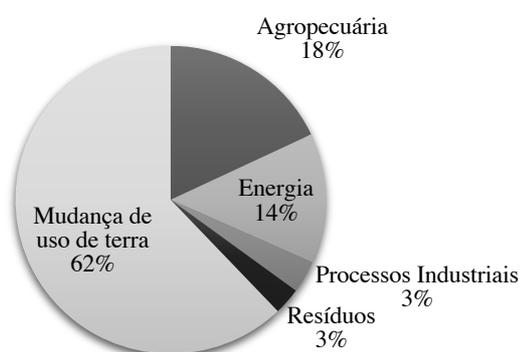
Figura 3 – Emissões brutas anuais brasileiras de gás carbônico equivalente.



Fonte: Do autor a partir da base SEEG.

A partir da Figura 3 confirma-se a relevância que a Mudança de uso de terra (desmatamento) possui sobre as emissões de GEE, indicado pela porcentagem de 62% dentre todos os setores da economia. É importante ressaltar que de acordo com o SEEG tal setor sempre representou a maior parcela das emissões brutas brasileiras, chegando a quase 80% em alguns anos, e no agregado, entre 1990 e 2016, corresponde a dois terços das emissões brutas totais do Brasil.

Figura 4 – Média das emissões brutas anuais de gás carbônico equivalente para os setores da economia brasileira no período de 1992 a 2006.



Fonte: Do autor a partir da base SEEG.

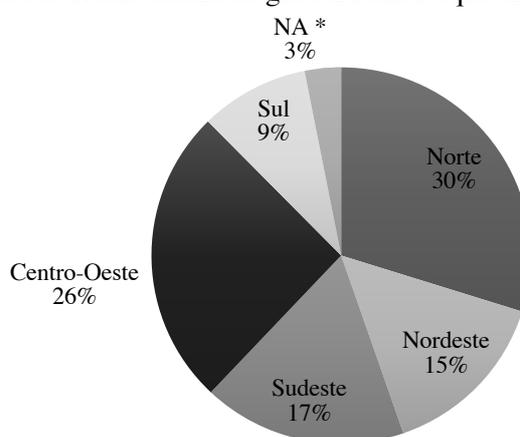
Ainda com relação a Figura 3 é importante ressaltar que a Agropecuária possui a segunda posição de maior emissora, detentora de 18% da média das emissões anuais de CO₂e. Os principais gases contribuintes dessa atividade são o metano (CH₄) emitido pela fermentação entérica na pecuária e o manejo de dejetos animais e o óxido nitroso (N₂O) resultante do uso de fertilizantes nitrogenados. Tal valor é justificado pela alta produtividade que o setor possui, além de constante crescimento e contribuição no Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, acumulando um crescimento de 4,48% em 2016, segundo estimativas do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea, 2017), da Esalq/USP, além de uma taxa de crescimento de produtividade média de 3,58% ao ano entre 1975 e 2015 (Governo do Brasil, 2017). Sendo assim, pode-se concluir que as emissões de GEE pela agropecuária estão diretamente relacionadas com a sua produtividade, crescimento e contribuição econômica.

O setor de energia representa a terceira maior fonte de emissões brutas de GEE no Brasil, com uma média anual de 14%, que inclui a produção e consumo de combustíveis e energia elétrica. Seguido pelo setor de Processos Industriais e Resíduos, ambos com 3%, sendo que o primeiro possui uma média absoluta anual de 13,2 MtCO₂e a mais que o segundo. É importante ressaltar que o setor de Processo Industriais inclui as emissões diretas decorrentes

de processos de transformação química e/ou física de materiais e o setor de Resíduos responde pelas emissões nos tratamentos de esgoto doméstico e disposição de resíduos. O último possui nível de emissões baixo uma vez que o Saneamento Básico, em 2017, atendia somente 41,5% dos municípios brasileiros (IBGE, 2018), o que tende a ser mudado com implantação de Políticas Municipais de Saneamento Básico, o que aumentaria também as emissões do setor.

É importante também verificar que, de acordo com a Figura 4 a região Norte é a principal responsável pela emissão de GEE com 30%, seguida pela região Centro-Oeste com 26%, ambas podem ser justificadas pela presença de florestas, a Amazônica e Pantanal, respectivamente. Após, vem a região Sudeste, Nordeste e Sul que juntas possuem menos da metade das emissões totais brasileiras.

Figura 5 – Média das emissões brutas anuais de gás carbônico equivalente para as regiões brasileiras.



Fonte: Do autor a partir da base SEEG.

Nota: * NA são emissões que não foram alocadas para nenhum Estado.

A Tabela 1 indica as emissões brutas médias de cada região brasileira e cada setor da economia e explicita que a justificativa da presença das florestas como principal fonte de emissão de GEE nas regiões Norte e Centro-Oeste, a qual indica que o setor de Mudança de Uso de Terra é o maior emissor para ambas. Adicionalmente, tal setor só não é o maior emissor para as regiões Sudeste e Sul sendo que para a primeira é o setor energético e para a segunda o setor Agropecuário, justificado pela menor quantidade de áreas verdes e desenvolvimento de outros setores da economia. No entanto, para essas duas regiões, o setor de Mudança de Uso de Terra ocupa o segundo lugar de maior emissor.

Tabela 1– Média das emissões brutas anuais de gás carbônico equivalente para as regiões brasileiras e setores econômicos em t CO₂e.

	Agropecuária	Energia	Processos Industriais	Resíduos	Mudança de Uso de Terra	Total
Centro-Oeste	61.893.341	41.650.933	5.257.242	14.011.822	228.923.841	351.737.179
Nordeste	125.738.654	23.622.016	1.811.349	6.049.434	448.111.574	605.333.026
Norte	61.616.807	20.219.512	1.580.201	2.360.931	620.117.412	705.894.863
Sudeste	89.869.596	135.997.651	46.815.750	34.742.854	103.711.221	411.137.072
Sul	87.521.008	50.042.901	3.314.237	9.752.036	69.191.731	219.821.913
NA *	-	51.440.367	21.353.323	7.159	498.258	73.299.107

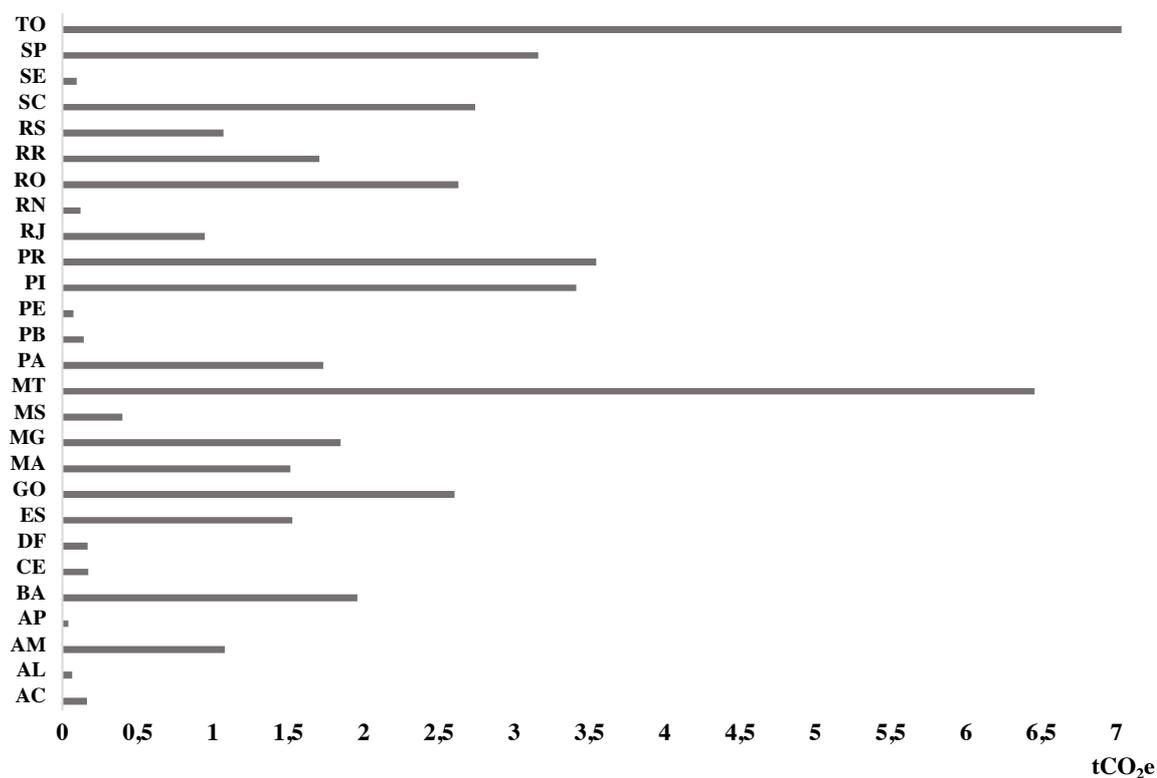
Fonte: Do autor a partir da base SEEG.

Nota: * NA são emissões que não foram alocadas para nenhum Estado.

Para as regiões Centro-Oeste, Nordeste e Norte, a Agropecuária vem como segundo colocada, seguida por Energia, Resíduos e Processos Industriais identificando que o foco econômico dessas regiões não são as indústrias e sim o Agronegócio. É importante ressaltar que há uma relação estreita entre Mudanças de uso de terra e a Agropecuária, uma vez que é necessário, muitas vezes, que ocorra o desmatamento para permitir desenvolvimento agrícola e pecuário.

Conforme já discutido, verifica-se uma diferença nos setores emissores e nas quantidades emitidas por cada região, conseqüentemente, para cada Estado. A Figura 5 indica uma heterogeneidade na média das emissões per capita de cada Estado, sendo que o Tocantins ocupa a primeira posição, com 7,03 tCO₂e per capita. Tal média é explicada pela alta emissão e pequena população e ainda, uma dificuldade inicial de se realizar os censos e estimativas populacionais uma vez que o Estado foi criado somente em 1989. Este é seguido pelo Mato Grosso e Paraná, com 6,46 e 3,54 03 tCO₂e per capita, respectivamente.

Figura 6 – Média das emissões brutas per capita anuais de gás carbônico equivalente para os Estados brasileiros.



Fonte: Do autor a partir da base SEEG.

Quando se realiza uma comparação das emissões per capita das regiões brasileiras obtém-se os resultados da Tabela 2, na qual mostra que os Estados da região Sudeste possuem maior emissão média per capita com 1,861 tCO₂e, seguida pela região Centro-Oeste com 1,828 tCO₂e e tendo o Nordeste com menor valor de 0,398 tCO₂e. Tal fato é explicado novamente pelas atividades econômicas realizadas e densidade populacional de cada região.

Tabela 2 – Média das emissões brutas per capita anuais de gás carbônico equivalente para as regiões brasileiras.

Região	Emissão per capita (tCO₂e)
Sudeste	1,861
Centro-Oeste	1,828
Sul	1,735
Norte	1,082
Nordeste	0,398

Fonte: Do autor a partir da base SEEG.

Ainda, verifica-se um comportamento diferente das emissões para cada região e Estado, sendo necessário então, um modelo econométrico de análise que contemple a discrepância entre Estados e suas características individuais, o que será apresentado e discutido na seção seguinte.

4.2 Modelo de Convergência das Emissões

Na estimação do modelo de convergência, foi utilizado o modelo econométrico de Efeitos Fixos, conforme verificado após a realização dos testes estatísticos que serão apresentados posteriormente. Na Tabela 3 é apresentada a estatística descritiva das variáveis relevantes transformadas em logaritmo.

Tabela 3 – Estatística descritiva das variáveis.

Variáveis	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
$txem_{it}$	0,0019	0,0294	-0,0969	0,0902
$\log(e_{it-N}^c)$	2,3198	1,2509	0,5287	5,3884
$\log(s_{it})$	0,2546	0,4870	-1,0702	1,2566
$\log(dep_{it})$	-2,9943	0,5907	-4,4316	-1,3124

Fonte: Resultados da pesquisa.

A partir da Tabela 3 foi possível estimar a taxa média de crescimento das emissões e obteve-se que a taxa média de crescimento das emissões de gás carbônico para o Brasil entre 1992 e 2016 foi de 0,19%. A maior taxa de crescimento das emissões foi de 9,02 % no período de 2002 a 2006 para o estado do Amapá. Curiosamente, a menor taxa de crescimento foi para o mesmo estado, mas no período de 1992 a 1996 com uma taxa negativa de 9,69% também, durante o mesmo período o estado obteve a maior taxa de crescimento populacional da amostra sendo de 26,92%, que é calculada pelo exponencial do dado na Tabela 3. A menor taxa de crescimento populacional é do estado do Rio Grande do Sul com 1,19%. E a média do crescimento populacional foi de 5,01%.

O Estado com a média de poupança mais baixa foi o Piauí com 0,3429 MWh per capita no período de 1992 a 1996 já o mais alto foi o estado de Santa Catarina com 3,5136 MWh per capita no período de 2012 a 2016.

4.2.1 Testes preliminares

Os testes de Hausman, Correlação Serial e Heterocedasticidade foram realizados para Convergência Absoluta e Condicional e estão apresentados na Tabela 4.¹

Tabela 4 – Testes preliminares.

	Convergência Absoluta	Convergência Condicional
Teste de Hausman	74,3 *** (0,0000)	98,423 *** (0,0000)
Correlação Serial	3,8481 * (0,0524)	7,7686 *** (0,0063)
Teste de Heterocedasticidade	0,8239 (0,364)	12,565 *** (0,0057)

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nota: *, **, *** Significante a 10%, 5% e 1%, respectivamente.
p-valor entre parênteses.

A partir da Tabela 4 verifica-se que somente o Teste de Heterocedasticidade para o modelo de convergência absoluta possui *p-valor* insignificante e por isso não se rejeita a hipótese nula. Dessa forma, assume-se que a variância dos erros é constante e, portanto, pode-se confiar na estatística *t* da saída de regressão.

Conforme já exemplificado, o Teste de Hausman é aplicado a fim de definir a escolha entre Efeitos Fixos e Aleatórios. Para convergência absoluta e condicional o *p-valor* é significativo, dessa forma, aceita-se sob a hipótese alternativa de que a estimação por Efeitos Fixos é indicada. É importante ressaltar que quando o teste indica Efeitos Fixos, caso utilize-se Efeitos Aleatórios, esse se torna viesado (Ávila, 2011).

O Teste de correlação serial aplicado indica que para a convergência absoluta é significativo a 10% e para a condicional é significativo a 1%, indicando assim para ambas a presença de auto correlação entre os indivíduos da amostra. Apesar da presença de auto correlação, pode-se estimar regressões robustas à heterocedasticidade e correlação serial pelo procedimento de Windmeijer (2005) e ainda, por se tratar de painéis curtos (T=5), a correlação serial não é considerada um problema preocupante (Ávila, 2011).

¹ O teste de poolabilidade não foi realizado uma vez que sua confirmação indica que seja usado o método *pooled* de estimação o qual é considerado restritivo e irrealista por possuir um pressuposto assumido de que os efeitos não diferem de seção para seção.

De acordo com os resultados dos testes apresentados na Tabela 4, a estimação da convergência deve ser realizada pela metodologia de Efeitos Fixos, correspondendo com o evidenciado por Islam (2003) de que os Efeitos Fixos são ideais para estimação de equações de crescimento econômico e que nestas está presente uma heterogeneidade não observada.

4.2.2 Estimação com Efeitos Fixos

Da mesma forma que os testes preliminares, a estimação dos Efeitos Fixos foi realizada para convergência absoluta e condicional, e os resultados estão evidenciados na Tabela 5.

Tabela 5 – Estimação da equação de convergência.

Variáveis	Convergência Absoluta	Convergência Condicional
e_{it-N}^c	-0,0649 *** (-6,4628)	-0,0613 *** (-6,4784)
s_{it}	-	-0,0411 ** (-2,181)
dep_{it}	-	-0,0206 * (-2,1895)
N	135	135

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nota: *, **, *** Significante a 10%, 5% e 1%, respectivamente. Estatística t entre parênteses.

É importante ressaltar que a estatística t, apresentada na Tabela 5, foi obtida com o erro padrão robusto estimado pela função *coefest* no software *R* a fim de corrigir a heterocedasticidade do modelo.

Conforme os dados apresentados na Tabela 5, verifica-se a presença de convergência absoluta, fundamentado no Modelo de Solow Verde no qual, β_1 deve possuir sinal negativo, indicando relação negativa das emissões. Ainda, é verificada a significância de tal resultado para o modelo.

Como forma de corrigir os resultados e a heterocedasticidade, aplicou-se o modelo de mínimos quadrados factíveis e não obteve alteração. Também se inseriu uma variável binária de forma a se indicar os Estados do Sudeste por apresentarem características discrepantes dos demais, porém os resultados não foram alterados.

Quando se analisa os resultados para a convergência condicional verifica-se a significância do modelo e que o sinal do coeficiente da variável emissões e depreciação efetiva são condizentes com o apresentado no modelo de Solow, indicando uma relação negativa da taxa de crescimento das emissões e população. No entanto, o sinal do coeficiente da variável

poupança não apresenta o sinal esperado. O mesmo acontece no trabalho de Amorim, Scalco e Braga (2008) que analisam a convergência econômica para os estados brasileiros e que também utilizam o consumo de energia elétrica total como *proxy* para poupança. No trabalho, os autores realizam o teste para taxa de crescimento de renda e taxa de crescimento de renda per capita. Para o primeiro os resultados de tal variável foram consistentes com o modelo, no entanto, para o segundo, verificou-se inconsistência de forma que a variável apresentou sinal negativo, porém não houve justificativa apresentada.

A partir disso, pode-se concluir que a variável consumo de energia utilizada como *proxy* possui uma limitação quando tratada de forma per capita. A justificativa para tal é o fato de além dos dados de consumo de energia terem sido coletados de dois bancos de dados e a metodologia não ser exemplificada, utiliza-se também o dado de população, a fim de obter o consumo per capita, que é obtido por estimativas pelo IBGE. Além disso, o fato de os dados terem sido coletados por duas organizações diferentes e o fato de a metodologia poder ser diferente também impacta negativamente nos resultados.

Outra possível justificativa para o sinal não esperado da variável é o fato de ter-se utilizado o consumo total de energia elétrica, que inclui os setores industrial, residencial, comercial e outros. No ano de 2016, o setor industrial foi o que mais consumiu energia, com uma porcentagem de 35,7% e o segundo colocado foi o residencial com 28,8%, com porcentagens muito próximas (EPE, 2017). O setor residencial em si não possui grandes emissões de energia, dessa forma, essa pode ser outra limitação da variável, a utilização de consumos de energia elétrica que não se enquadram com a realidade das emissões, as quais possuem a Mudança de Uso de Terra como principal emissor e não há relação de tal setor com o principal consumidor de energia elétrica, o industrial.

Além disso, é importante ressaltar também que a principal fonte de energia brasileira é a hidráulica, a qual era responsável por 65,8% da geração de energia elétrica no ano de 2016 (EPE, 2017). A energia hidráulica é considerada uma energia limpa e emite pouco GEE, podendo não ser a variável ideal para utilização como *proxy* de poupança. Ainda, Marquetti, Berni e Hickmann (2002) sugerem a utilização de consumo de energia como *proxy* de poupança, mas indicam alguns problemas como o fato desta ser uma variável de fluxo e não considerar o capital físico que não utiliza energia elétrica como fonte de energia.

O fato dos resultados para a variável poupança não terem sido conforme o esperado não descarta a convergência pois os valores para a emissão defasada são coerentes com o modelo de Solow Verde e isto é o principal para se afirmar a convergência absoluta, conforme verificado nos resultados. No entanto, a convergência absoluta é passível de erros pois não

somente as emissões interferem e sim outros fatores, como os utilizados na condicional, taxa de poupança e crescimento da população.

Dessa forma, afirma-se a existência de convergência condicional pelo resultado mostrado pela variável emissão defasada, no entanto é necessário ressaltar que o resultado para a poupança não foi conforme o esperado.

Ainda, cabe-se a discussão se a convergência das emissões está realmente relacionada a uma redução na degradação ambiental pois é definido somente a convergência e não a emissão per capita relacionada àquele ponto. Caso essa emissão tenha convergido, mas a uma alta emissão, não nos permite afirmar que tal convergência é benéfica ao meio ambiente, pois a poluição ambiental ainda ocorre.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo tratar das emissões de gases de efeito estufa para os estados brasileiros e provar a convergência das emissões através do modelo apresentado por Brock e Taylor (2010). Isto foi realizado por meio da estimativa de painéis estáticos por meio de Efeitos Fixos.

Os resultados obtidos nos permitem afirmar que quando se leva em consideração a convergência absoluta, esta é verificada. Porém quando se trata da convergência condicional, não é possível confirmá-la pela presença do sinal negativo no coeficiente relacionado à taxa de poupança, o que é justificado pela utilização da variável consumo de energia total como *proxy* e também verificado por alguns autores conforme já mencionado.

Isso revela uma limitação da base de dados, tanto pelo consumo de energia total ser um *proxy* e determinado por duas instituições em dois períodos de tempos diferentes, como pela população ser uma estimação realizada pelo IBGE e também pelas emissões não serem dados coletados e sim estimados. Devido a tantos fatores de limitação, algumas considerações e sugestões precisam ser realizadas como o desenvolvimento de um trabalho levando em consideração somente o consumo de energia elétrica industrial, o que seria mais relevante como monitoramento e mensuração mais efetivos das emissões brasileiras. A fim de melhorar os resultados do modelo, sugere-se realizar as estimativas dos coeficientes por meio de painel dinâmico.

Ainda, o modelo de Brock e Taylor também possui limitações como o fato de considerar nulos os custos de abatimento do carbono, o que é muito frequente no Brasil quando se trata de reflorestamentos, o que reduziriam as emissões do setor de Mudança de uso de terra, o principal emissor de gases do efeito estufa no país.

Apesar da confirmação da convergência absoluta, isso não significa que a convergência ocorra no Brasil pois há diversos outros fatores que devem ser considerados e ainda, nem sempre a convergência significa redução na degradação do meio ambiente.

Sendo assim, as políticas, programas e legislações brasileiras devem continuar com a preocupação e restrição das emissões de poluentes atmosféricos, de forma a reduzir suas concentrações na atmosfera. Não basta somente a existência das legislações, estas devem ser aplicadas e fiscalizadas pelos órgãos e conselhos estaduais e regionais.

Este é considerado um tipo de poluição de difícil mensuração e que necessita de investimentos por parte do Governo por se tratar, muitas vezes, da necessidade de uso de

equipamentos de alto poder aquisitivo, delicados e sensíveis. Porém tal monitoramento deve se tornar constante de forma a limitar as emissões e melhorar a qualidade do ar.

Por fim, apesar de verificação da convergência absoluta, é necessária uma melhoria na coleta dos dados brasileiros de forma a melhorar as estimativas de emissões atmosféricas a fim de determinar a convergência condicional. Além disso, políticas, programas e legislações brasileiros devem continuar a ser implementados de forma a garantir que a convergência das emissões seja para uma concentração na qual a degradação ao meio ambiente seja amena.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACAR, S.; LINDMARK, M. Convergence of CO2 emissions and economic growth in the OECD countries: Did the type of fuel matter?. **Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy**, v. 12, n. 7, p. 618-627, 2017.

AMORIM, A. L.; SCALCO, P. R.; BRAGA, M. J. Crescimento Econômico e Convergência de Renda nos Estados Brasileiros: Uma Análise a partir dos Grandes Setores da Economia. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 39, n. 3, p. 359- 370, set. 2008.

AUCI, S.; BECCHETTI, L. The instability of the adjusted and unadjusted environmental Kuznets curves. **Ecological Economics**, v. 60, n. 1, p. 282-298, 2006.

AVILA, E. S. de; DINIZ, E. M. Evidências sobre curva ambiental de Kuznets e convergência das emissões. **Estudos Econômicos**, São Paulo, v. 45, n. 1, p. 97-126, jan-mar. 2015.

ÁVILA, E.S de. **Evidências sobre Curva Ambiental de Kuzntes e convergência das emissões**. 2011. 61p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2011.

BARRO, R. J.; SALA-I-MARTIN, X. Convergence. **The Journal of Political Economy**, v. 100, n. 2, p. 223–251, 1992.

BOUSQUET, A.; FAVARD, P. Does S. Kuznets ´ Belief Question the Environmental Kuznets Curves?. September, mimeo, 2000.

BRASIL. Decreto Legislativo nº 144 de 2002. Aprova o texto do Protocolo de Quioto à convenção-quadro das nações unidas sobre mudança do clima, aberto a assinaturas na cidade de quioto, japão, em 14 de dezembro de 1997, por ocasião da terceira conferência das p artes da convenção-quadro das nações unidas sobre mudança do clima. **Congresso Nacional**, Brasília, DF, 31 ago. 1981. Disponível em: <<https://acervo.socioambiental.org/sites/default/files/documents/S7D00016.pdf>>. Acesso em: 30 mar. 2019.

BRASIL. Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 31 ago. 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm>. Acesso em: 30 mar. 2019.

BRASIL. Lei nº 8.723 de 28 de outubro de 1993. Dispõe sobre a redução de poluentes por veículos automotores e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 out. 1993. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8723.htm>. Acesso em: 30 mar. 2019.

BRASIL. Portaria MINTER nº 231, de 27 de abril de 1976. Revogada pela Resolução CONAMA nº 03 de 28/06/90.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 22 ago. 1990. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=41>>. Acesso em: 30 mar. 2019.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 5, de 15 de junho de 1989. Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar – PRONAR. **Diário Oficial da União**, Ministério do Meio Ambiente/Conselho Nacional do Meio Ambiente, Brasília, DF, 25 ago. 1989. Seção 1, p. 147113-147114. Disponível em:

<<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=81>>. Acesso em: 30 mar. 2019.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 18, de 06 de maio de 1993. Dispõe sobre o Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE. **Diário Oficial da União**, Ministério do Meio Ambiente/Conselho Nacional do Meio Ambiente, Brasília, DF, 06 mai. 1993. Disponível em: < <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res1886.html> >. Acesso em: 30 mar. 2019

BRASIL. Resolução CONAMA nº 382, de 26 de dezembro de 2006. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. **Diário Oficial da União**, Ministério do Meio Ambiente/Conselho Nacional do Meio Ambiente, Brasília, DF, 02 jan. 2007. Seção 1, p. 131-137. Disponível em:

<<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=520>>. Acesso em: 30 mar. 2019.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 436, de 22 de dezembro de 2011. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anteriores a 02 de janeiro de 2007. **Diário Oficial da União**, Ministério do Meio Ambiente/Conselho Nacional do Meio Ambiente, Brasília, DF, 26 dez. 2011. Seção 1, p. 304-311. Disponível em:

<<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=660>>. Acesso em: 30 mar. 2019.

BRASIL. Resolução nº 490, de 16 de novembro de 2018. Estabelece a Fase PROCONVE P8 de exigências do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE para o controle das emissões de gases poluentes e de ruído para veículos automotores pesados novos de uso rodoviário e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Ministério do Meio Ambiente/Conselho Nacional do Meio Ambiente, Brasília, DF, 16 nov. 2018. Seção 1, p. 153-155. Disponível em:

<<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=739> >. Acesso em: 30 mar. 2019.

BRASIL. Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018. Revoga a Resolução Conama no 03/1990 e os itens 2.2.1 e 2.3 da Resolução Conama no 05/1989. **Diário Oficial da União**, Ministério do Meio Ambiente/Conselho Nacional do Meio Ambiente, Brasília, DF, 21 nov. 2018. Seção 1, p. 155. Disponível em: <http://www.in.gov.br/web/guest/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/51058895/do1-2018-11-21-resolucao-n-491-de-19-de-novembro-de-2018-51058603>. Acesso em: 30 mar. 2019.

BROCK, W. A.; TAYLOR, M. S. The green solow model. **Journal of Economic Growth**, v. 15, n. 2, p. 127–153, 2010.

BULTE, E.; LIST, J.; STRAZICICH, M. Regulatory federalism and the distribution of air pollutant emissions. **Journal of Regional Science**, v. 47, n. 1, p. 155-178, 2007.

CALSING, R. de A. O Protocolo de Quioto e o direito ao desenvolvimento sustentável. **Rev. Jur.**, v. 6, n. 71, p.01-11, 2005.

CARSON, R. **Primavera Silenciosa**. São Paulo: Melhoramentos, 1969.

CASTANEDA, D. F. N. Regressão linear simples. Aula 2 minicurso. **I Congresso Internacional de Estadística**. Trujillo-Perú. 2013.

CEPEA. **PIB-AGRO BR/CEPEA: Impulsionado por ramo agrícola, PIB cresce 4,48% em 2016**. 2017. Disponível em: < <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/releases/pib-agro-cepea-impulsionado-por-ramo-agricola-pib-cresce-4-48-em-2016.aspx>>. Acesso em: 01 mai 2019.

DE BRUYN, S. Explaining the environmental Kuznets curve: structural change and international agreements in reducing sulphur emissions. **Environment and Development Economics**, v. 2, n. 4, p. 485-503, 1997.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017**. 2017. Disponível em: < <http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2017vf.pdf>>. Acesso em: 15 mai 2019.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Consumo de energia elétrica na rede**. 2016. Disponível em: < <http://epe.gov.br/pt>>. Acesso em: 11 mar 2019.

FONSECA, L. N. **Preservação ambiental e crescimento econômico no Brasil**. Porto Alegre. Universidade Federal do Rio Grande Do Sul. 2003.

GOMES, S.C.; BRAGA, M. J. Desenvolvimento econômico e Desmatamento na Amazônia Legal: Uma Análise Econométrica. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural (SOBER), 46, 2008, Rio Branco. Disponível em: <<https://ageconsearch.umn.edu/record/103095?ln=en>>. Acesso em: 18 de março de 2019.

GOVERNO DO BRASIL. **Agropecuária brasileira é uma das que mais cresce no mundo**. 2017. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/noticias/infraestrutura/2017/05/agropecuaria-brasileira-e-uma-das-que-mais-cresce-no-mundo?TSPD_101_R0=bd41d18f0f5a7b9650738b6628b5052ab6M000000000000000005b9fdbbaffff00000000000000000000000000000005ccae6aa0057697d7c08282a9212ab2000edd509ec68e0a4c05570e5b5768ac382ac0e3e2e685b72a28331716f431ff50d08e3cbbf2a0a28005ca345e6385b607fc9d78c33f3ac2b5d9b4bce045b5549ff39d56895229dd5f530fe7c2d265f11d0>. Acesso em: 01 mai 2019.

GROSSMAN, G. M.; KRUEGER, A. B. **Environmental impacts of a North America free trade agreement**. National Bureau of Economic Research, 1991.

GUJARATI, D.N.; PORTER, D.C. **Econometria Básica**. McGraw-Hill/Bookman, 5a edição, 2011.

HAUSMAN, J.A. **Specification Tests in Econometrics**, Econometrica, 1978.

HILTON, F.; LEVINSON, A. Factoring the Environmental Kuznets Curve: Evidence from Automotive Lead Emissions. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 35, n. 2, p. 126-141, 1998.

HSIAO, C. **Analysis of panel data**. Second Edition. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Munic: mais da metade dos municípios brasileiros não tinha plano de saneamento básico em 2017**. 2018. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/22611-munic-mais-da-metade-dos-municipios-brasileiros-nao-tinha-plano-de-saneamento-basico-em-2017>>. Acesso em: 01 mai 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Perfil dos Estados Brasileiros: 2017**. IBGE, Coordenação de População e Indicadores Sociais. Rio de Janeiro. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Projeções populacionais UFs**. 2018. Disponível em: <https://serieestatisticas.ibge.gov.br/lista_tema.aspx?op=0&no=10>. Acesso em: 11 mar 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Sistema de Contas Nacionais Trimestrais – SCNS**. 2018. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9300-contas-nacionais-trimestrais.html?edicao=23242&t=destaques>>. Acesso em: 27 mar 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **INPE apresenta taxa de desmatamento consolidada do PRODES 2014**. 2015. Disponível em: <http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=3944>. Acesso em: 01 mai 2019.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Global Warming of 1.5 °C: An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty**. Suíça. IPCC. 2018.

IPEADATA. **Consumo de energia elétrica – total**. 2003. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>>. Acesso em: 11 mar 2019.

ISLAM, N. Growth empirics: a panel data approach. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 110, n. 4, p. 1127-1170, 1995.

ISLAM, N. What have we learnt from the convergence debate? **Journal of Economic Surveys**, v. 17, n. 3, p. 309–362, 2003.

KAUFMANN, R. et al. The determinants of atmospheric SO₂ concentrations: reconsidering the environmental Kuznets curve. **Ecological Economics**, v. 25, n. 2, p. 209-220, 1998.

KUZNETS, S. Economic growth and income inequality. **American Economic Review**, v. 45, p. 1–28, 1955.

LEE, J.; LIST, J. A. Examining trends of criteria air pollutants: Are the effects of governmental intervention transitory? **Environmental and Resource Economics**, v. 29, p. 21–37, 2004.

LIST, J. Have Air Pollutant Emissions Converged among U. S. Regions? Evidence from Unit Root Tests. **Southern Economic Journal**, v. 66, n. 1, p. 144, 1999.

LOPES, G. B.; DINIZ, E. M. Um estudo sobre a Curva Ambiental de Kuznets e a convergência da Pegada Ecológica. In: Encontro Nacional de Economia, 16, 2014. **Anais do XLI Encontro Nacional de Economia**. 2014. Disponível em: <<https://econpapers.repec.org/paper/anpen2013/209.htm>>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2019.

MARQUETTI, A. A.; BERNI, D. de A.; HICKMANN, G. Evidências empíricas sobre a relação entre educação e crescimento no Rio Grande do Sul. **Indic. Econ. FEE**, V.30, N.2, P.105-122, 2002.

MCTIC. **MCTIC reforça parceria com os estados para reduzir emissões de gases do efeito estufa**. 2017. Disponível em: <http://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/salaImprensa/noticias/arquivos/migracao/2016/10/MCTIC_reforca_parceria_com_os_estados_para_reduzir_emissoes_de_gases_do_efeito_estufa.html>. Acesso em: 25 abr 2019.

MEADOWS, D. H. et al. **The Limits of Growth. a Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind**. Nova Iorque. [s.l.] Universe Books, 1972.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Efeito Estufa e Aquecimento Global**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/comunicacao/item/195-efeito-estufa-e-aquecimento-global>>. Acesso em: 4 de fevereiro de 2019.

OLIVEIRA, V. H. **Crescimento econômico e equidade social nos municípios do Ceará: uma evidência empírica entre 1991 e 2000**. Fortaleza. IPECE - Texto para discussão no 32, 2006.

PANAYOTOU, T. **Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development**. Technology and Employment Programme, 1993.

PANAYOTOU, T. Demystifying the environmental Kuznets curve: turning a black box into a policy tool. **Environment and development economics**, v. 2, n. 4, p. 465-484, 1997.

RODRIGUES, L. dos A. et al. Pobreza, crescimento econômico e degradação ambiental no meio urbano brasileiro. **Revibec: revista de la Red Iberoamericana de Economía Ecológica**, v. 26, p. 11-24, 2016.

ROMER, D. **Advanced Macroeconomics**. 2. ed. Nova Iorque: McGraw-Hill, 2001.

SEEG. **Emissões de GEE no Brasil e suas implicações para políticas públicas e a contribuição brasileira pra o Acordo de Paris**. 2018. Disponível em: <<http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2018/08/Relatorios-SEEG-2018-Sintese-FINAL-v1.pdf>>. Acesso em: 15 fev 2019.

SEEG. **Emissões estados**. 2019. Disponível em: <<http://plataforma.seeg.eco.br/map>>. Acesso em: 15 fev 2019.

SEEG. **Metodologia**. 2019. Disponível em: <<http://seeg.eco.br/metodologia/>>. Acesso em: 9 abr 2019.

SELDEN, T. M.; SONG, D. 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.

SERRANO, A. L. M.; LOUREIRO, P. R. A.; NOGUEIRA, J.M. Evidência da Curva de Kuznets Ambiental no Brasil: uma análise do crescimento econômico e poluição. **Revista Economia e Desenvolvimento**, v. 13, n. 2, 2015.

SHAFIK, N.; BANDYOPADHYAY, S. Economic growth and environmental quality: a time series and cross-country evidence. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 4, p. 1–24, 1992.

SOLOW, R. M. A contribution to the theory of economic growth. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 70, n. 1, p. 65–94, 1956.

SOUSA, L.; SOUSA, D.; SANTOS, R. Curva Ambiental de Kuznets: uma análise macroeconômica entre crescimento econômico e impacto ambiental de 2005 a 2010. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 5, n. 2, p. 227, 2016.

STERN, D.; COMMON, M.; BARBIER, E. Economic growth and environmental degradation: The environmental Kuznets curve and sustainable development. **World Development**, v. 24, n. 7, p. 1151-1160, 1996.

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

STRAZICICH, M. C.; LIST, J. A. Are CO₂ emission levels converging among industrial countries?. **Environmental and Resource Economics**, v. 24, n. 3, p. 263-271, 2003.

UNITED NATIONS. **Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future**. 1987.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. Kyoto Protocol Reference Manual. 2008

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS. PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO. **Normas para realização do Estágio Supervisionado do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária**. Disponível em: <http://www.prg.ufla.br/site/wpcontent/uploads/2013/06/Normas_Redacao_Relatorio_Final_Estagio_Supervisionado_ENG-AMB.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2019.

WOOLDRIDGE, J. M. Specification testing and quasi-maximum-likelihood estimation, **Journal of Econometrics**, Elsevier, vol. 48(1-2), p. 29-55, 1991.

WORLD ECONOMIC OUTLOOK. **World Economic and Financial Surveys**. Disponível em: <<https://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2017/02/weodata/index.aspx>>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2019.

WORLD WIDE FUND FOR NATURE. **A história da Convenção de Clima, Protocolo de Quioto e próximo acordo global de clima**. Brasil, 2008. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/informacoes/sala_de_imprensa/?uNewsID=16780>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2019.

APÊNDICE A

COMANDOS UTILIZADOS NO SOFTWARE R

```
dados <- pdata.frame(TCC1992 , index= c("estado","ano"), drop.index=TRUE,
row.names=TRUE)

dados
def<-log(emdfpc)
taxa<-taxapc
#CONVERGÊNCIA ABSOLUTA#
#Efeitos fixos#
FEabs <- plm (taxa ~ def, data = dados, model = "within")
summary(FEabs)
# Efeitos Aleatorios#
REabs <- plm(taxa ~ def, data = dados, model = "random")
summary(REabs)
#Teste de Hausman#
hausabs<- phtest(FEabs, REabs)
hausabs
#correlacao serial# painel curtos
corrserialabs<- pwartest(taxa~def, data = dados)
corrserialabs
```

```

library(lmtest)
library(car)
coefest(FEabs, vcov.=vcovNW)
coefest(FEabs,vcov=vcovHC(FEabs, method ="arellano", type="HC1"))
#Teste de Heterocedasticidade: Teste de Breusch-Pagan-Godfrey#
bptest(FEabs)

#CONVERGÊNCIA CONDICIONAL#
attach(dados)
def<-log(emdfpc)
lcap<-log(txcap)
lpop<-log(txpop)
taxa<-taxapc
#Efeitos fixos
FE <- plm (taxa ~ def + lcap + lpop, data = dados, model = "within")
summary(FE)
# Efeitos Aleatorios
RE <- plm(taxa ~ def + lcap + lpop, data = dados, model = "random")
summary(RE)
#Teste de Hausman
haus<- phtest(FE, RE)
haus
#correlacao serial# painel curtos
corrserial<- pwartest(taxa~def+lcap+lpop, data = dados)
corrserial
library(lmtest)
library(car)
coefest(FE, vcov.=vcovNW)
coefest(FE,vcov=vcovHC(FE, method ="arellano", type="HC1"))
#Teste de Heterocedasticidade: Teste de Breusch-Pagan-Godfrey#
bptest(FE)

```