



UNIVERSIDADE
ESTADUAL de LONDRINA

FERNANDO ARTICO BIGARANI

**RELAÇÃO ENTRE RENDA E EMISSÃO DE DIÓXIDO DE
CARBONO**

Londrina
2015

FERNANDO ARTICO BIGARANI

RELAÇÃO ENTRE RENDA E EMISSÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia Regional da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof^a Dr^a Irene Domenes
Zapparoli

Londrina
2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Bigarani, Fernando Artico .

Relação entre renda e emissão de dióxido de carbono / Fernando Artico Bigarani. - Londrina, 2015.
68 f. : il.

Orientador: Irene Domenes Zapparoli.

Dissertação (Mestrado em Economia Regional) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Estudos Sociais Aplicados, Programa de Pós-Graduação em Economia Regional, 2015.

Inclui bibliografia.

1. Economia regional - Tese. 2. Renda per capita - Tese. 3. Dióxido de carbono - Tese. I. Zapparoli, Irene Domenes. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Estudos Sociais Aplicados. Programa de Pós-Graduação em Economia Regional. III. Título.

FERNANDO ARTICO BIGARANI

RELAÇÃO ENTRE RENDA E EMISSÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia Regional da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Prof^a Dr^a Irene Domenes
Zapparoli
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Umberto Antonio Sesso Filho
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Paulo Rogério Alves Brene
Universidade Estadual do Norte do Paraná -
UENP

Londrina, 27 de janeiro de 2015.

DEDICATÓRIA

À minha família, principalmente meus pais e minha irmã que sempre me apoiaram.

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, aos meus pais, Sérgio e Albertina, pelo amor, carinho e incentivos, sempre torcendo por mim e me dando força interior para superar as dificuldades ao longo da jornada.

À minha família por ter suportado e compreendido minhas ausências e as noites em claro.

À Professora Dra. Irene Domenes Zapparoli, meus sinceros agradecimentos, por acreditar em mim, me mostrar o caminho da ciência, fazer parte da minha vida acadêmica nos momentos, pela amizade e orientação firme e segura durante a elaboração desta dissertação.

Aos amigos que fizeram parte desses momentos sempre me ajudando e incentivando. Os professores da Pós-Graduação em Economia Regional pelo aprendizado e troca de experiências.

A todos aqueles que, embora não nomeados, me brindaram com seus inestimáveis apoios em distintos momentos, o meu reconhecido e carinhoso muito obrigado!

BIGARANI, Fernando Artico. **Relação entre renda e emissão de dióxido de carbono**. 2015. 68f. Dissertação (Pós-Graduação, Mestrado em Economia Regional). Centro de Estudos Sociais Aplicados, Universidade Estadual de Londrina, 2015.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é verificar a existência de relação per capita entre emissão de dióxido de carbono e o crescimento da renda e também averiguar o formato da curva de Kuznets Ambiental (CKA). A metodologia utilizada consiste na análise exploratória de dados espaciais para os anos de 1994 e 2009 usando programa Geoda e também utilizando o mesmo programa para regressão através do modelo clássico e do modelo do erro autorregressivo espacial. Por meio de mapas e do Índice de Moran busca-se observar a existência de autocorrelação espacial, per capita, entre a emissão de gás carbônico e Produto Interno Bruto dos países da Europa e da África, identificando a existência de *clusters* espaciais, já as regressões tem por finalidade averiguar o formato da CKA. A análise dos resultados apresentou autocorrelação espacial significativa entre as variáveis estudadas e permitiu a identificação de *clusters* espaciais na Europa e na África. Os resultados da regressão foram significativos para indicar uma possível existência da CKA no formato de U invertido no curto prazo e no longo prazo assumindo um formato de N. A conclusão confirma que da Curva de Kuznets Ambiental assumiu um formato de U invertido no curto prazo e no longo prazo um formato de N e também identifica que o protocolo de Kyoto foi capaz de promover alterações nos *clusters* univariados analisados. A sugestão de novas pesquisas fica no sentido de explorar mais a literatura existente da CKA de longo prazo e incluir no modelo de regressão o protocolo de Kyoto.

Palavras Chaves: Concentração espacial. Dióxido de carbono per capita. Renda per capita. Curva de Kuznets Ambiental. Protocolo de Kyoto.

BIGARANI, Fernando Artico. **Relation per capita between income and emission of carbon dioxide**. 2015. 68p. Dissertação (Pós-Graduação, Mestrado em Economia Regional). Centro de Estudos Sociais Aplicados, Universidade Estadual de Londrina, 2015.

ABSTRACT

The objective of this work is to verify the existence of relationship between per capita carbon dioxide emissions and income growth and also determine the format of the Environmental Kuznets Curve (EKC). The methodology consists of exploratory spatial data analysis for the years 1994 and 2009 using geoda program and also using the same program for regression through the classical model and the spatial autoregressive error model. Through maps and Moran Index seeks to observe the existence of spatial autocorrelation, per capita, between carbon dioxide emissions and gross domestic product of the countries of Europe and Africa, identifying the existence of spatial clusters, since the regressions It is intended to determine the CKA format. The results showed significant spatial autocorrelation between variables and allowed the identification of spatial clusters in Europe and Africa. The regression results were significant to indicate a possible existence of CKA in the inverted U-shaped in the short term and in the long run assuming a format N. The conclusion confirms that the Environmental Kuznets Curve took an inverted U-shaped in the short term and in the long run a C shape and also identifies that the Kyoto protocol was able to promote changes in univariate analysis clusters. The suggestion of new research is in order to further explore the literature of long-term CKA and include in the regression model the Kyoto protocol.

Keywords: Spatial concentration. Per capita carbon dioxide. Per capita income. Environmental Kuznets Curve. Kyoto Protocol.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Matriz “Rainha”	27
Figura 2 -	Diagrama de dispersão	29
Figura 3 -	Diagrama de dispersão plota	30
Figura 4 -	Processo a-espacial	32
Figura 5 -	Processo de defasagem espacial	33
Figura 6 -	Processo de erro espacial	35
Figura 7 -	Mapa de Clusters da emissão per capita de CO ₂ do ano de 1994	44
Figura 8 -	Mapa do nível significância do ano de 1994	45
Figura 9 -	Mapa de Clusters da emissão per capita de CO ₂ do ano de 2009	46
Figura 10 -	Mapa do nível significância do ano de 2009	46
Figura 11 -	Diagrama de dispersão para o ano de 1994 e 2009 respectivamente	48
Figura 12 -	Mapa de Clusters para a relação entre emissões de CO ₂ cúbica per capita e PIB per capita para o ano de 1994.....	50
Figura 13 -	Mapa de Significância do ano de 1994	51
Figura 14 -	Mapa de Clusters para a relação entre emissões de CO ₂ cúbica per capita e PIB per capita para o ano de 2009.....	53
Figura 15 -	Mapa de Significância do ano de 2009	53
Figura 16 -	Diagrama de dispersão para o ano de 1994 e 2009 respectivamente	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Elementos principais do Protocolo de Kyoto	18
Quadro 2 – Clusters formados da emissão per capita de CO2 do ano de 1994	44
Quadro 3 – Clusters formados da emissão per capita de CO2 do ano de 1994	46
Quadro 4 – Clusters formados na relação entre emissões de CO2 cúbica per capita e PIB per capita para o ano de 1994	51
Quadro 5 – Clusters formados na relação entre emissões de CO2 cúbica per capita e PIB per capita para o ano de 2009	52

LISTA DE GRÁFICOS

<i>Gráfico 01 - Curva de Kuznets</i>	19
<i>Gráfico 02 - Curva de Kuznets Ambiental (CKA)</i>	21
<i>Gráfico 03 - A Curva de Kuznets Ambiental</i>	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Modelo Clássico 1994	56
Tabela 2 -	Modelo Spatial Error 1994.....	58
Tabela 3 -	Modelo Clássico 2009	60
Tabela 4 -	Modelo Spatial Error 2009.....	62

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

AAUs	<i>Assigned Amount Units</i>
CE	Comércio de Emissão
CER	<i>Certified emission reduction</i>
CFCs	Clorofluorcarbonetos
CH4	Metano
CKA	Curva de Kuznets Ambiental
CO2	Dióxido de Carbono
COP-3	Conferência das Partes 3
ERU	<i>Emission reduction</i>
GEE	Gases do efeito estufa
HFCs	Hidrofluorcarbonetos
IJ	Implementação Conjunta
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MQO	mínimo quadrados ordinários
N2O	Óxido nitroso
RCEs	Certificadas de emissões
RMU	<i>Removal unit</i>
SF6	Hexafluoreto de enxofre
UR	Unidades de redução

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
1 A CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL E O PROTOCOLO DE KYOTO	16
1.1 PROTOCOLO DE KYOTO.....	16
1.2 A CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL.....	19
2 METODOLOGIA	26
2.1 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE DADOS ESPACIAIS (AEDE)	26
2.2 AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL GLOBAL UNIVARIADA.....	27
2.3 AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL LOCAL UNIVARIADA.....	28
2.4 AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL GLOBAL BIVARIADA	29
2.5 AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL LOCAL BIVARIADA	31
2.6 O MODELO ECONOMÉTRICO-ESPACIAL CLÁSSICO.....	32
2.7 MODELO DE DEFASAGEM ESPACIAL (SAR)	33
2.8 MODELO DE ERRO AUTORREGRESSIVO ESPACIAL (SEM).....	35
2.9 TESTE ÍNDICE DE MORAN (DIFUSO).....	36
2.10 TESTE ML_{ρ}	37
2.11 TESTE ML_{λ}	38
2.12 TESTE ML_{λ}^* ROBUSTO	39
2.13 TESTE ML_{ρ}^* ROBUSTO.....	39
2.14 DADOS DA ANÁLISE ESPACIAL	40
2.15 DADOS E MODELOS DA AVALIAÇÃO DE REGRESSÃO ATRAVÉS DO GEODA	40
3 RELAÇÃO MUNDIAL ENTRE RENDA E EMISSÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO.....	43
3.1 RELAÇÃO ESPACIAL UNIVARIADA DA EMISSÃO DE CO ₂ PER CAPITA.....	43
3.2 RELAÇÃO ESPACIAL ENTRE EMISSÃO DE GÁS CARBÔNICO PER CAPITA E PIB PER CAPITA.....	50
3.2.1 Análise da Regressão para o Ano de 1994.....	56

3.2.2	Análise da Regressão para o Ano de 2009.....	60
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
	REFERÊNCIAS	67

INTRODUÇÃO

O progresso econômico é responsável pela geração de renda, emprego e, principalmente, pelo aumento da riqueza da sociedade como um todo. Entretanto, o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB mundial) gera na exploração de algumas atividades impacto ambiental. O aumento da emissão de gás carbônico é uma das externalidades negativas do crescimento da economia, por ser este o principal gás responsável pelo aquecimento global.

A camada gasosa que envolve a Terra é chamada de Atmosfera, tem como principais atribuições à filtração da radiação, a regulação do clima, do ciclo das chuvas, dos ventos, do efeito estufa, o fornecimento de oxigênio para a manutenção da vida, e a proteção contra a queda de meteoros. Algumas destas funções estão sofrendo alterações, devido ao aumento das emissões de certos gases, como o Dióxido de Carbono (CO_2), Metano (CH_4), Óxido nitroso (N_2O), Clorofluorcarbonetos (CFCs), Hidrofluorcarbonetos (HFCs) e Hexafluoreto de enxofre (SF_6). O Dióxido de Carbono é o gás mais emitido pela atividade humana, representando aproximadamente mais de dois terços dos gases lançados à atmosfera, portanto, o principal responsável pelo aquecimento global.

Nesse sentido objetivo é verificar a existência de relação entre emissão de dióxido de carbono e o crescimento da renda e averiguar o formato da Curva de Kuznets Ambiental. A Curva de Kuznets Ambiental pode ser apreendida a partir do protocolo de Kyoto. Já os objetivos específicos compreendem: verificar a existência de relação espacial entre emissão de CO_2 per capita e PIB per capita por meio da Estatística Índice de Moran; analisar os clusters formados e averiguar a mudança nas relações espaciais da emissão de CO_2 per capita verificando se o protocolo de Kyoto foi capaz de realizar modificações neste cenário; e comprovar o formato da curva de Kuznets por meio da análise dos resultados obtidos nas regressões.

A metodologia tem por base identificar se existe uma relação espacial entre renda e a emissão de CO_2 , realizando uma análise multivariada usando o programa Geoda e também através do Modelo de Erro Autorregressivo Espacial (SEM) comprovar o formato da Curva de Kuznets Ambiental. O período de análise compara a relação entre os anos de 1994 e 2009, para os países da África e Europa.

Neste âmbito, o estudo sobre a emissão do gás carbônico vem ganhando seu espaço junto aos vários ramos da ciência e também se mostra o precursor de várias discussões na mídia sobre o meio ambiente. Por isso, seu estudo é fundamental para compreender melhor a relação do CO₂ com a causa antropogênica.

Além desta introdução, esta pesquisa está organizada em outras quatro seções. A primeira seção apresenta uma revisão literária sobre curva de Kuznets Ambiental (CKA) e do protocolo de Kyoto. Na segunda tem-se a metodologia e o procedimento de preparação dos dados. A terceira seção traz os mapas obtidos por meio do programa Geoda para a análise univariada e bivariada de CO₂ per capita e PIB per capita e suas respectivas considerações. Têm ainda nessa seção as análises do modelo clássico de regressão e do erro e suas respectivas conclusões com relação ao formato da CKA. Sendo, a última parte, dedicada a apresentação das conclusões e sugestão de novas pesquisas.

1 A CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL E O PROTOCOLO DE KYOTO

A curva de Kuznets Ambiental e o Protocolo de Kyoto são os marcos ordenadores da revisão sobre a relação entre dióxido de carbono e renda *per capita*.

1.1 PROTOCOLO DE KYOTO

No ano de 1997, na Conferência das Partes 3 (COP-3) o documento definido como protocolo de Kyoto, definiu metas de redução nas emissões de gases do efeito estufa (GEE). Os países foram divididos em dois grupos: os classificados no Anexo I e os Não-Anexo I (aqueles não inclusos no primeiro anexo). Nesse documento a redução da emissão de GEE ficou estabelecida em, no mínimo 5,2%, abaixo dos níveis de 1990, com base nos inventários nacionais apresentados, até 2012, para países do Anexo I. (BRASIL, MMA, 2014)

Para entrar em vigor era necessário que 55 países ratificassem o protocolo e que estivessem incluídos os países desenvolvidos que são responsáveis por no mínimo 55% das emissões de CO₂ em 1990. Apesar dos EUA assinarem o protocolo em novembro de 1998, durante a Conferência das Partes, em Buenos Aires, seu ato foi simbólico, uma vez que o presidente não submeteu o protocolo à aprovação do senado, devido à preocupação que o limite de emissões prejudicasse a indústria norte-americana e conseqüentemente a sua economia. Os Estados Unidos ainda exigiam que os países emergentes também adotassem os limites obrigatórios de emissões juntamente com os países industrializados. (THOMAS E CALLAN, 2012)

Em março de 2001 os Estados Unidos se retiraram do protocolo de Kyoto, desencadeando uma preocupação em relação ao futuro do protocolo, já que este é responsável por aproximadamente 25% das emissões mundiais de GEE. Entretanto, no mesmo ano 178 países chegaram a um acordo sobre as mudanças climáticas. Sendo a ratificação obtida em 2004 depois da assinatura da Rússia e com a participação de 141 países. O Protocolo na versão final define que 38 países desenvolvidos reduzam suas emissões de GEE para 5,2% abaixo de seus níveis de 1990 até 2012. (THOMAS E CALLAN, 2012)

Atualmente essa redução consiste em 80%, até o ano 2050. Aos países do Não-Anexo I, o crescimento de suas emissões foi limitado pela introdução de medidas apropriadas. Para a viabilização dessas medidas, contaram com recursos financeiros e acesso à tecnologia de países industrializados. Os mecanismos de flexibilização presentes no protocolo são: Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), Comércio de Emissão (CE) e Implementação Conjunta (IJ). O primeiro se aplica aos países presentes no grupo dos Não-Anexo I, os dois últimos se aplica aos países do grupo do Anexo I. (BRASIL, MMA, 2014)

Exposto no artigo sexto do protocolo de Kyoto a Implementação Conjunta da liberdade aos países que possuem uma redução de emissão ou compromisso de limitação de suas emissões desenvolverem um projeto de redução de emissão em outro país presente no anexo B. O país desenvolvedor do projeto fica com os créditos de carbono, conhecidos como unidades de emissão reduzida, cada unidade desta equivale a uma tonelada métrica de CO₂. (UNFCCC, 2014-C)

Presente no artigo 12 do protocolo o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) é visto como um projeto pioneiro a oferecer instrumentos de compensação de emissão padronizada. O MDL consiste na implementação de projetos nos países em desenvolvimento com a intenção de reduzir ou retirar da atmosfera os gases responsáveis pelo efeito estufa. Para uma tonelada de CO₂ ou equivalente é emitido um crédito de carbono que recebe o nome de Redução Certificada de Emissão (*Emission Reduction Credits*), que pode ser negociada internacionalmente, tendo como principais compradores países e outros que por algum motivo desejam reduzir suas emissões. Portanto, o MDL permite aos países desenvolvidos maior flexibilidade nas formas de atingir suas metas. (UNFCCC, 2014-A)

Os compromissos assumidos no protocolo de Kyoto estabelecem metas para limitar ou reduzir as emissões, que foram expressas em níveis de emissões permitidas ou quantidades atribuídas e estas foram divididas em unidades de quantidades atribuídas (*Assigned Amount Units – AAUs*). O artigo 17 do protocolo de Kyoto é referente ao Comércio Internacional de Emissão que da liberdade aos países que possuem unidades de emissão sobrando vender esse excesso de unidades para os países que desejam adquirir para abater em sua cota estipulada. (UNFCCC, 2014-B)

“Os países desenvolvidos precisam reduzir todas as emissões de gases do efeito estufa, no mínimo em até 5,2% abaixo dos níveis de 1990 no primeiro período do compromisso, 2008 a 2012 ¹ , atendendo as metas individuais de emissões atribuídas a cada país (...)”
“As metas de emissões cobrem os GEEs primários; dióxido de carbono, óxido nitroso, hidrofluorcarbonos; perfluorcarbonos; e hexafluoreto de enxofre.”
“As metas de emissões devem ser atingidas por meio do comércio internacional de permissões para emitir os GEEs.”
“Atividades que favorecem a absorção de carbono, como o reflorestamento, podem ser usadas para compensar nas metas de emissões. Os GEEs de qualquer tipo, removidos com a adoção de tais atividades, ganham créditos chamados de unidades de remoção.”
“Segundo o Mecanismo de Desenvolvimento limpo (MDL), um país desenvolvido pode participar de projetos de redução de emissões de um país emergente e usar as decorrentes reduções certificadas de emissões (RCEs) para atender sua própria meta de emissão.”
“Utilizando a Implementação em Conjunto, um país desenvolvido pode implementar um projeto de redução de emissões em outro país desenvolvido e usar as unidades de redução (UR) resultantes em cima da sua própria meta de emissões.”
“Os participantes que deixam de atender as metas de emissões precisam compensar a diferença no segundo período de comprometimento e pagar multa de 30%.”

Fonte: Thomas e Callan, 2012, p.493.

Quadro 1 - Elementos principais do Protocolo de Kyoto

O comércio de emissão criado através dessas unidades de emissão possui como principal representante as unidades de dióxido de carbono que, por sua vez, denominou-se “mercado de carbono”. As AAUs podem ser vendidas e comercializadas sob-regime do protocolo de Kyoto e cada uma delas equivale a uma tonelada de CO₂. Sendo comercializadas e classificas pelo UNFCCC (2014-B) da seguinte forma:

- As baseadas no uso da terra, por exemplo, atividades de reflorestamento, recebem a classificação de *removal unit* (RMU);
- As geradas pela implementação conjunta de projetos recebe o nome de *emission reduction* (ERU);
- Aquelas geradas a partir de um mecanismo de desenvolvimento limpo são classificadas como *certified emission redution* (CER).

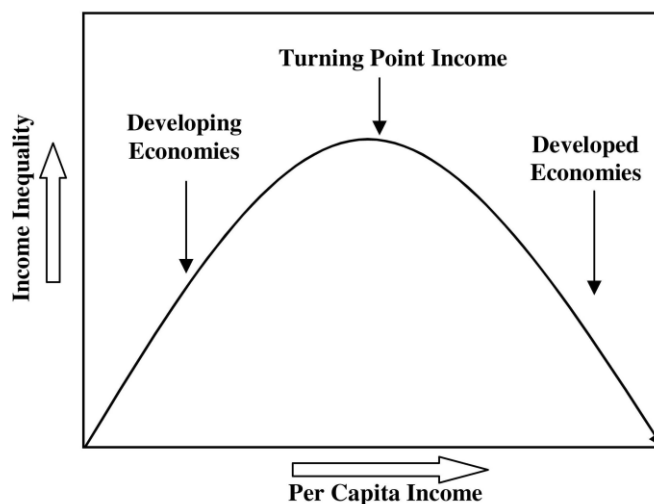
¹ Atualmente essa redução consiste em 80%, até o ano 2050.

1.2A CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL

No ano de 1955, Simon Kuznets, inicialmente observando os Estados Unidos, Grã-Bretanha e Alemanha, percebeu uma relação entre crescimento econômico e distribuição da renda pessoal em formato de U-invertido. Os diferenciais de rendimentos dos trabalhadores entre os setores da economia, na transição de uma economia agrícola para uma economia industrial, é a sua explicação para esse comportamento.

A distribuição de renda era pensada por Kuznets como uma interação da população urbana e rural, onde a primeira é mais concentrada com relação à segunda, sendo sua renda média também mais elevada. Além disso, ele enfatizava que quando a renda aumentava, a diferença entre a renda per capita das áreas urbana e rural se mantinha ou até mesmo se ampliava em favor da primeira, devido ao crescente aumento de produtividade desta área. (ARRAES *et al.*, 2006)

No discurso que ficou conhecido como *Economic Growth and Income Inequality*, Kuznets sugeriu que no início o aumento da renda *per capita* leva a aumentos na desigualdade de renda, entretanto, tal relação se mantém apenas até certo ponto. Com o crescimento econômico continuado a relação entre as variáveis se moveria na direção de uma maior igualdade, ou seja, a partir de certo nível os aumentos da renda levariam a uma maior igualdade na distribuição da mesma. (YANDLE *et al.*, 2002) Tal relação que ficou conhecida como a curva de Kuznets pode ser observada na figura abaixo:



Fonte: YANDLE *et al.*, (2002, p.2)

Gráfico 01 - Curva de Kuznets

Lomborg (2002, p.42) argumenta que “o desenvolvimento ambiental em geral é fruto do crescimento econômico – só podemos nos dar o luxo relativo de nos importar com o meio ambiente quando nos tornamos suficientemente ricos”. Portanto nos estágios iniciais de crescimento, a degradação ambiental ocorre como um efeito colateral ruim que, contudo, não será mais aceito a partir de certo nível de bem-estar econômico. Como exemplo, temos:

Por um período de 100 a 300 anos, o ocidente viu sua renda aumentar e poluição também. Nas décadas de 1930 e 1940, Londres era ainda mais poluída do que Pequim, Nova Déli e Cidade do México atualmente. Em geral, somente nos últimos 40 a 100 anos os países desenvolvidos dissociaram o crescimento econômico do aumento da poluição. A explicação, segundo o Banco Mundial, é que, com a maior afluência, o mundo ocidental gradualmente teve condições de pagar por um ambiente mais limpo e, ao mesmo tempo, passou a aceitar cada vez menos um ambiente poluído. Tomaram-se as decisões políticas e obteve-se um ambiente mais limpo (LOMBORG, 2002, p. 210).

Sendo assim, "a intervenção ambientalista é necessária se quisermos prevenir a poluição desnecessária e evitar que as pessoas se esquivem de suas responsabilidades. Entretanto, só devemos intervir quando for razoável" (LOMBORG, 2002, p. 41).

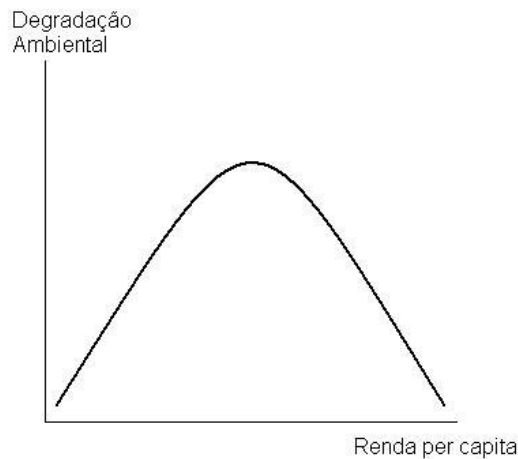
O conceito de que a preservação ambiental depende do crescimento econômico, não leva em consideração, que os efeitos deste quanto ao meio ambiente não podem ser ignorados, e que capacidade do planeta não pode suportá-lo indefinidamente. Se a degradação for irreversível, a atividade econômica pode estar em risco (ARROW *et al.*, 1995). Segundo RATTNER (1999):

Contradições crescentes entre crescimento econômico e seus sistemas de apoio ambiental estão ameaçando as precárias condições de vida dos pobres nos países em desenvolvimento, assim como os padrões relativamente altos de consumo material nos países desenvolvidos. (RATTNER, 1999, p. 102)

Pode-se, entretanto, tratar do crescimento econômico e da preservação ambiental de forma conjunta, possibilitando a melhoria de ambos simultaneamente. A preservação ambiental era percebida por muitos como um obstáculo ao crescimento econômico. Contudo o relatório “Nosso Futuro Comum” reconheceu meio ambiente e crescimento econômico como uma falsa dicotomia:

Meio ambiente e crescimento econômico não constituem desafios separados; estão inevitavelmente interligados. O desenvolvimento não se mantém se a base de recursos ambientais se deteriora; o meio ambiente não pode ser protegido se o crescimento econômico não leva em conta as consequências da destruição ambiental (CMMAD, 1988, p.40).

O crescimento econômico deve, assim, ser tratado de modo mais amplo, integrando “a produção com a conservação e ampliação de recursos” (CMMAD, 1988, p.43), possibilitando-se a distribuição equitativa de seus benefícios à população. Além disso, ele deve ser objetivo não apenas das nações em desenvolvimento. As mudanças exigidas em níveis locais e internacionais o fazem necessário em todos os países.



Fonte: LOMBORG, (2002, p.210)

Gráfico 02 - Curva de Kuznets Ambiental (CKA)

Alguns autores, levando em conta o cenário econômico de seu período (década de 90) e a teoria da curva de Kuznets, criaram o conceito da curva de Kuznets ambiental (CKA). A CKA descreve a trajetória da poluição de um país como resultado de seu desenvolvimento em um determinado período de tempo. Ela prevê que a degradação ambiental se eleva à medida que o crescimento econômico aumenta; isto nos estágios iniciais do desenvolvimento, e, conforme o tempo, se alcançará um certo nível de renda que fará tal degradação diminuir. (ALMEIDA E CARVALHO, 2010)

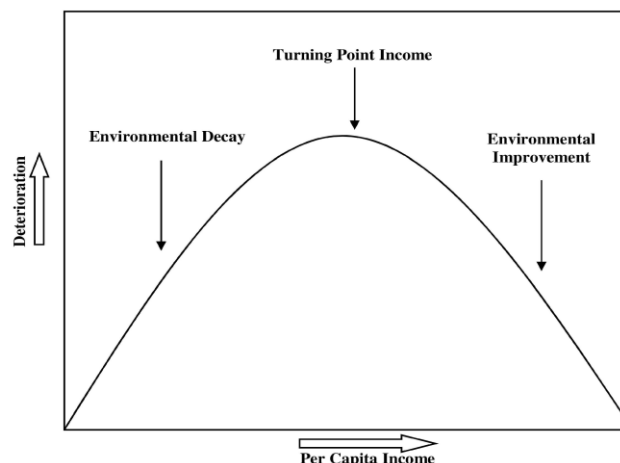
Supondo um país que possui níveis de pobreza altos, quando o crescimento deste começa a ocorrer, sua poluição também crescerá. Um dos fatores é, sem dúvida, que o aumento da produção aumenta a emissão de poluentes. Já o

outro fator é devido à sua pobreza, que o limita, fazendo-o utilizar pouca ou nenhuma técnica de controle de poluição sobre a sua produção. À medida que a renda desse país emerge para níveis mais altos e sua produção se torna mais competitiva, a prioridade deste país muda para a proteção da qualidade ambiental, ou seja, a melhoria ambiental está relacionada com o crescimento econômico. (ALMEIDA E CARVALHO, 2010)

Almeida e Carvalho (2010) explicam os estágios de desenvolvimento dos países de acordo com a curva ambiental de Kuznets:

[...] os países passariam por estágios de desenvolvimento, regidos pelas forças de mercado e por mudanças na regulação governamental. No primeiro estágio, marcado pela transição de uma economia tradicional agrícola para uma industrializada, o crescimento econômico implica em uma pressão cada vez maior sobre o meio ambiente, resultado da criação e ampliação do parque industrial. O estágio seguinte seria caracterizado pela maturação da sociedade e da infraestrutura industrial. Nesse ponto, o atendimento das necessidades básicas permite o crescimento de setores menos intensivos em recursos e poluição, e as melhorias técnicas começam a reduzir a intensidade de matéria/energia e rejeitos da produção. Por fim, no terceiro estágio de desenvolvimento, ocorreria o 'descolamento' (de-linking) entre o crescimento econômico e a pressão sobre o meio ambiente, a partir de quando o primeiro não mais implica em um aumento do segundo [...] (ALMEIDA E CARVALHO, 2010, p. 3)

Assim a curva de Kuznets no formato de U invertido tornou-se um meio para descrever a relação entre os níveis medidos de qualidade ambiental, tais como a que foi utilizada neste trabalho, emissões de dióxido de carbono per capita e renda per capita, ao longo do tempo.



Fonte: YANDLE *et al.*, (2002, p.3)

Gráfico 03 - A Curva de Kuznets Ambiental

Os níveis mais baixos de renda per capita normalmente são encontrados nas economias pré-industriais e agrárias, onde a maioria da atividade econômica é a agricultura de subsistência, é de se esperar que a atividade econômica esteja causando um dano menor pelo menos para os poluentes associados à atividade industrial. À medida que o desenvolvimento e o progresso industrial avançam os danos ambientais também aumentam devido a maior utilização dos recursos naturais associados a aumentos nas emissões de poluentes. Isso ocorre devido à utilização de tecnologias menos eficientes e relativamente sujas, uma vez que a sociedade prioriza a competitividade de sua produção industrial e ignora os efeitos do crescimento econômico para o meio ambiente. À medida que o crescimento econômico e conseqüentemente a renda continuam aumentar, ocorreram aumentos na expectativa de vida e surgirão novas demandas por água mais limpa, melhor qualidade do ar, entre outras, ou seja, um *habitat* mais limpo se torna mais valioso. (YANDLE *et al.*, 2002)

O impacto ambiental será uma função que assumirá formato de U invertido na renda per capita. A curva de Kuznets Ambiental assume esse formato devido alguns elementos, como a elasticidade positiva para a qualidade ambiental, de modo que esta se torna mais valorizada pela sociedade de acordo com o aumento da renda; alteração na composição da produção e do consumo; educação e conscientização ambiental; organismos políticos mais abertos. Outras possíveis causas são a liberalização comercial, mudanças tecnológicas positivas e maior rigidez das legislações ambientais. (ALMEIDA E CARVALHO, 2010) De acordo com THOMAS e CALLAN (2012) o modelo sugere:

[...] que os estágios iniciais da industrialização estão relacionados com níveis crescentes de poluição, quando o crescimento é uma prioridade maior do que a proteção dos recursos naturais e os controles ambientais são brandos ou praticamente não existem. Também implica que o desenvolvimento mais avançado está ligado a uma mudança do foco na direção oposta com preocupação crescente pela qualidade ambiental, basicamente um efeito da renda e um fortalecimento concomitante das leis ambientais [...]. (THOMAS E CALLAN, 2012, p. 486)

No longo prazo de acordo com De Bruyn *et al* (1998), Almeida e Carvalho (2010), a curva de Kuznets Ambiental não se mantém neste formato de U invertido. Este formato da CKA se manteria apenas no início da relação entre crescimento econômico e pressão ambiental. Chega um momento em que após um determinado nível de renda, ocorre um novo ponto de inflexão e a trajetória da CKA

volta a ser ascendente, assumindo um novo formato, similar a um N, ou seja, a degradação ambiental tornaria a aumentar em altos níveis.

Os efeitos que atuam sobre a relação de crescimento econômico e qualidade ambiental podem ser decompostos em efeito escala (conforme há aumento da produção, a pressão sobre o meio ambiente também tende a aumentar); efeito composição (o crescimento ocorre principalmente em setores com baixos níveis de emissão de poluentes); efeito técnico (um nível mais alto de produção é compensado pelos avanços tecnológicos, mantendo a qualidade ambiental quase inalterada). (ALMEIDA E CARVALHO, 2010)

O primeiro efeito pode ser anulado pelos outros dois efeitos, portanto, quando se analisa a CKA tem-se que tê-los em mente. Normalmente, nos países desenvolvidos a ocorrência do efeito escala sendo anula os outros dois efeitos, pois estes países possuem taxas de crescimento relativamente baixas. Já nós países em desenvolvimento, que possuem taxas de crescimento mais altas, normalmente o efeito escala não é completamente anulado pelos efeitos composição e técnico. (ALMEIDA E CARVALHO, 2010).

Stern (2003) também enumera alguns fatores que atual sobre a qualidade ambiental e crescimento econômico que provocarão mudanças na CKA:

1. *Scale of production implies expanding production at given factor-input ratios, output mix, and state of technology.*
2. *Different industries have different pollution intensities and typically, over the course of economic development the output mix changes.*
3. *Changes in input mix involve the substitution of less environmentally damaging inputs for more damaging inputs and vice versa.*
4. *Improvements in the state of technology involve changes in both:*
5. *Production efficiency in terms of using less, ceteris paribus, of the polluting inputs per unit of output.*
6. *Emissions specific changes in process result in less pollutant being emitted per unit of input. (STERN, 2003, p.03)*

Essas variáveis podem ser impulsionadas por alterações na regulamentação ambiental, conscientização e educação no curso do desenvolvimento econômico. (STERN, 2003)

A tecnologia possuirá um papel chave quando o total da poluição declinar com a renda. Neste cenário, as inovações tecnológicas são classificadas

em autônomas (exógena) e induzidas (endógenas). Esta última ocorre quando a nova tecnologia introduzida na produção é forte o suficiente para provocar um declínio na poluição total entre os países perante um aumento da renda. Às políticas do governo como regulamentações, taxas de poluição e a criação de permissões de emissões aparentam ser um forte incentivo à mudança para processos de produção que gerem menores impactos ambientais. (ALMEIDA E CARVALHO, 2010).

2 METODOLOGIA

Esta seção está composta pela análise exploratória de dados espaciais; Autocorrelação Espacial Global Univariada e Bivariada; Autocorrelação Espacial Local Univariada e Bivariada; pelos modelos Econométrico-Espacial Clássico, SAR e SEM; e por testes que ajudam a identificar o melhor modelo a ser utilizado e os possíveis problemas existente no modelo.

2.1 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE DADOS ESPACIAIS (AEDE)

A análise exploratória de dados espaciais de acordo com Almeida, Ferreira e Perobelli (2008) é fundamentada nos efeitos decorrentes da heterogeneidade espacial e da dependência espacial. Esta análise busca investigar a existência de distintos regimes espaciais, não-estacionariedade (instabilidade espacial) e identificar *outliers* (observações discrepantes), além de apresentar a distribuição espacial e os clusters espaciais (padrões de associação espacial).

Costa, Dentinho e Nijkamp (2011) explicam que a dependência espacial é definida como a relação entre seus valores analisados em pontos relacionados (ou próximo) com o valor que toma uma variável num determinado ponto do espaço.

A AEDE utiliza a matriz de pesos espaciais (w), que é entendida por Almeida (2004), por meio da relação de vizinhança da distância geográfica ou/e socioeconômica. Anselin (1999) explica que os elementos da matriz de pesos estão embasados na contiguidade ou nos arranjos geográficos das observações. Portanto, a matriz objetiva captar a ponderação que determinada variável de cada região recebe quando vier a fazer vizinhança com a região analisada.

Entre as matrizes de pesos espaciais, a utilizada nesta pesquisa é a denominada de Rainha (*QUEEN*). Almeida (2004) explica que ela aborda as fronteiras com extensões diferentes de zero. Na Figura 1 o quadrado a pode se avizinhar com os quadrados b , ou se avizinhar com os quadrados c , ou ambas as combinações podem ocorrer.

c	b	c
b	a	b
c	b	c

Fonte: DINIZ et al., 2014.

Figura 1 - Matriz “Rainha”

2.2 AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL GLOBAL UNIVARIADA

O grau de combinação linear entre os vetores apresentados no tempo e os valores médios ponderados da vizinhança é fornecido pelo Índice de Moran, de acordo com Almeida, Ferreira e Perobelli (2008).

A equação estatística do I de Moran é apresentada abaixo:

$$I = \frac{n}{\sum \sum w_{ij}} \frac{\sum \sum w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \quad (1)$$

onde: n : representa o número de unidades espaciais; y_i : representa variável de interesse; w_{ij} : representa peso espacial para as unidades espaciais i e j , ponderando o grau de interação entre elas.

O valor resultante do I de Moran caso não houvesse um padrão espacial nos valores apresentados são representados por $- [1/(n - 1)]$. Portanto, os valores que indicam autocorrelação espacial são os valores de I que excedem $- [1/(n - 1)]$ e os valores de I inferior ao valor esperado representam autocorrelação negativa. (ALMEIDA, 2004)

Para que haja similaridade entre os valores das variáveis consideradas é necessária a presença de autocorrelação espacial positiva. A existência de dissimilaridade entre os valores das variáveis apresentadas revela a presença de autocorrelação espacial negativa. (ALMEIDA, 2004)

De acordo com Costa, Dentinho e Nijkamp (2011) a autocorrelação espacial:

[...] pode ser positiva ou negativa, sendo a dependência espacial positiva se as áreas geográficas próximas apresentarem valores similares (elevados ou baixos) da mesma variável ou atributo, e negativo sempre que as localizações próximas apresentem valores muito diferentes para algum atributo específico. (COSTA, DENTINHO E NIJKAMP, 2011, p. 264)

2.3 AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL LOCAL UNIVARIADA

De acordo com Almeida (2004), o I de Moran local é explicado pelo agrupamento dos valores similares da região estudada formando clusters espaciais, significativos estatisticamente. Para Anselin (1995) constata-se de uma decomposição do indicador global de autocorrelação em quatro categorias, onde cada uma representa um quadrante no diagrama de dispersão.

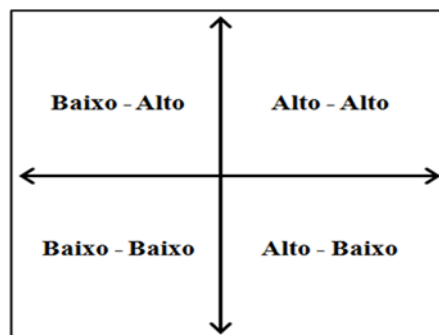
A estatística I de Moran local é apresentada pela seguinte equação (2):

$$I_i = \frac{(y_i - \bar{y}) \sum w_{ij} (y_j - \bar{y})}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2 / n} \quad \text{ou} \quad I_i = z_i \sum_j w_{ij} z_j \quad (2)$$

Onde:

z_i e z_j são variáveis padronizadas, a somatória de j é tal que unicamente os resultados dos vizinhos $j \in J_i$ são incluídos. O conjunto J_i agrega os vizinhos da variável i , por definição $w_{ii} = 0$.

O diagrama de dispersão de Moran apresenta quatro padrões distintos de associações local espacial entre as regiões analisadas e sua vizinhança (ALMEIDA, FERREIRA, PEROBELLI, 2008). A seguir é ilustrado o diagrama de dispersão de Moran:



Fonte: DINIZ et al., 2014.

Figura 2 - Diagrama de dispersão

Nas regiões Baixo-Baixo do diagrama encontram-se agrupamentos que apresentam valores baixos e suas regiões também apresentam valores baixos. Já a região Alto-Alto do diagrama encontram-se agrupamentos que apresentam valores altos e suas regiões também apresentam valores altos. No quadrante Alto-Baixo, encontram-se agrupamentos que apresentam altos valores e que são cercados por regiões com baixos valores. Finalmente, no quadrante Baixo-Alto, encontram-se agrupamentos que apresentam baixos valores e que são cercados por regiões com altos valores.

A teoria da autocorrelação univariada será usada na análise dos mapas, dos clusters formados e do I de Moran da variável de dióxido de carbono per capita.

2.4 AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL GLOBAL BIVARIADA²

O objetivo é verificar se os valores observados em uma dada região guardam alguma relação com os valores observados de outra variável em regiões vizinhas, ou seja, se pretende verificar a existência de um padrão global entre duas variáveis diferentes. Para atingir tal objetivo necessário calcular a estatística I de Moran para duas variáveis diferentes padronizadas, digamos z_1 e z_2 :

$$I_{z_1 z_2} = \frac{n}{S_0} \cdot \frac{(z_1 W z_2)}{z_1 z_1} \quad (3)$$

A expressão acima se transforma em,

$$I_{z_1 z_2} = \frac{(z_1 W z_2)}{z_1 z_1} \quad (4)$$

Caso a matriz W seja normalizada na linha. O coeficiente possuirá dois componentes distintos. O numerado representará uma medida de covariância do tipo produto cruzado, o denominador se refere a um reescalonamento, utilizando a variância dos dados. A ideia é averiguar se existe uma associação linear entre a emissão de CO₂ per capita e o PIB per capita.

² Esta seção está baseado Almeida (2012), Capítulo 4.

O diagrama de dispersão plota é explicado por ALMEIDA (2012):

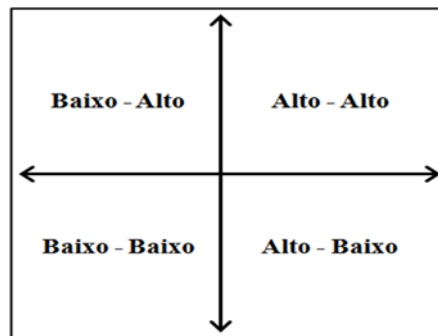
[...] no eixo das abscissas, os valores de uma variável padronizada, observados numa determinada região, com o valor de outra variável padronizada, observado nas regiões vizinhas, no eixo das ordenadas. O diagrama de dispersão de Moran bivariado é o gráfico da dispersão da nuvem de pontos representando valores de duas variáveis observadas nas regiões, com a indicação da declividade da reta de regressão. Para conseguir a declividade dessa reta, estima-se uma regressão linear simples por mínimos quadrados ordinários [...]. (ALMEIDA, 2012, p. 119)

Abaixo está representada a declividade da reta, onde α é a constante da regressão, β é o coeficiente angular e ε é um termo de erro aleatório.

$$Wz_2 = \alpha + \beta z_1 + \varepsilon \quad (5)$$

Ao fazer o coeficiente angular da reta de regressão da defasagem espacial (Wz_2) contra a variável z_1 (de interesse), estimado pelo MQO (mínimo quadrados ordinários) obtém-se:

$$\beta = Iz_1z_2 = z_1 \frac{Wz_2}{z_1z_1} \quad (9)$$



Fonte: DINIZ et al., 2014.

Figura 3 - Diagrama de dispersão plota

No primeiro quadrante do diagrama de dispersão de Moran, situa-se os valores Alto-Alto (são as regiões com valores altos da variável de interesse no eixo das abscissas, circundados por regiões que também possuem valores altos da outra variável de interesse, está no eixo das ordenadas), no segundo quadrante têm os valores Baixo-Alto (são regiões com valores baixos da variável de interesse no eixo das abscissas, circunvizinhos por regiões com valores altos da outra variável), o terceiro quadrante apresenta os valores Baixo-Baixo (significa que os valores baixo

de uma das variáveis são vizinhos dos valores baixo da outra variável) e o quarto quadrante exibe o agrupamento Alto-Baixo (neste os valores Alto da variável analisada estão rodeados pelos valores Baixo da outra variável).

O diagrama de dispersão de plota é bivariado é explicado também por COSTA, DENTINHYO e NIJKAMP (2011):

Este gráfico tem um carácter bivariante e permite representar sobre os eixos cartesianos a distribuição das duas variáveis geográficas, cuja relação desejamos conhecer. Da mesma forma, o GeoDa define uma recta de regressão que relaciona as duas variáveis analisadas, utilizando para tal um processo de ajustamento dos mínimos quadrados ordinários, que também permite apresentar no gráfico o valor da inclinação da recta ajustada. [...] A análise dos quatro quadrantes do diagrama de dispersão permite identificar as zonas com valores superiores ou inferiores à média em ambas as variáveis ou aqueles com valores superiores à média numa variável e inferiores noutra. (COSTA, DENTINHO E NIJKAMP, 2001, p. 270 e 271)

2.5 AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL LOCAL BIVARIADA³

Supondo a existência das variáveis de interesse x_i e y_i , padronizando-as estas, obtêm respectivamente z_1 e z_2 . Assim a formula do I de Moran local será:

$$I_{z_1 z_2} = z_{1i} W z_{2i} \quad (10)$$

Onde $W z_{2i}$ é a defasagem da variável padronizada z_{2i} . Unicamente os vizinhos da amostra i são incluídos no cálculo, de acordo com a matriz de pesos espaciais. A interpretação desta estatística é que ela apresenta uma indicação do grau de associação linear entre uma variável de locação i e a média das variáveis das locações vizinhas. Portanto, é possível mapear os valores, estatisticamente significativos, da probabilidade medida, obtendo-se o Mapa de significância bivariada do Moran local.

A teoria da autocorrelação bivariada será usada na análise dos mapas, dos clusters formados e do I de Moran da variável de dióxido de carbono per capita e renda per capita. Também caso o I de Moran Bivariado apresente valor significativo averiguar a existência estatística de relação entre dióxido de carbono e renda.

³ Está seção está baseado Almeida (2012), Capitulo 4.

2.6 O MODELO ECONOMETRICO-ESPACIAL CLÁSSICO

Os fenômenos estudados e seus aspectos teóricos e empíricos que envolvem o processo espacial ajudam a especificar o modelo econométrico-espacial. A fim de captar os aspectos do processo, as defasagens espaciais tomarão forma de variáveis defasadas espacialmente, tais como, $W_y, WX e W_\varepsilon$. Serão essas defasagens que controlarão a dependência espacial. (ALMEIDA, 2012)

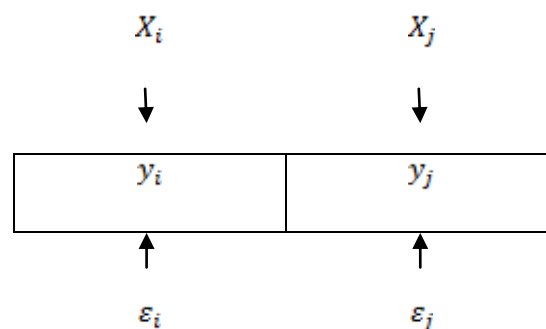
De acordo com Costa, Dentinho e Nijkamp (2011) na medida em que o valor de uma variável num ponto se relaciona com os valores da mesma variável nos restantes pontos do sistema são designados modelos auto-regressivos e simultâneos, uma vez que todos os parâmetros são estimados simultaneamente. (COSTA, DENTINHO E NIJKAMP, 2011)

O modelo clássico de regressão linear não leva em consideração a influência dos efeitos espaciais. Este é representado a seguir:

$$y = X\beta + \varepsilon \quad \varepsilon \sim \text{Normal}(0, \sigma^2 I_n) \quad (11)$$

Onde y é um vetor n por 1 de observações da variável dependente, X é uma matriz n por k de observações sobre as variáveis explicativas exógenas com um vetor β ligado k por 1 de coeficientes de regressão e ε é um vetor n por 1 de termos de erro aleatório, com variância constante e média zero. (ALMEIDA, 2012)

Pode-se representar processo esquematicamente a seguir:



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Almeida (2012)

Figura 4 - Processo a-espacial

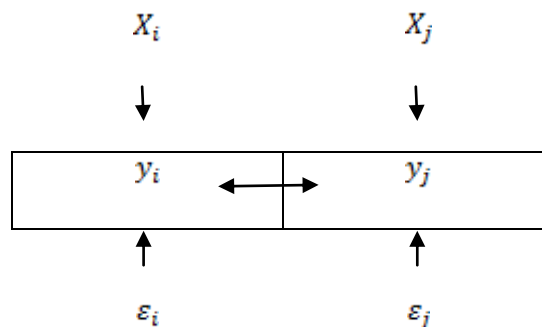
As regiões vizinhas i e j são indicadas por dois retângulos contíguos. Percebe-se que não existe interação espacial entre as regiões. Portanto, a equação acima não incorpora nenhuma defasagem espacial, ou seja, nenhuma variável explicativa está correlacionada com o termo de erro aleatório. (ALMEIDA, 2012)

O modelo clássico será utilizado para averiguar o formato da CKA no curto e no longo prazo.

2.7 MODELO DE DEFASAGEM ESPACIAL (SAR)

Os modelos de dependência espacial de alcance global são caracterizados por alojar a dependência espacial cujo alcance do transbordamento é global devido à interferência do multiplicador espacial que impacta sobre a variável dependente. Os modelos estudados serão o modelo SAR e o modelo SEM (Modelo de erro autorregressivo). (ALMEIDA, 2012)

O modelo SAR pode ser representado esquematicamente como:



Fonte: Elaborado pelos autores com base em Almeida (2012)

Figura 5 - Processo de defasagem espacial

Percebe-se que a variável dependente nas regiões vizinhas (i e j) apresentam interações entre si. Assim podemos expressar o modelo matematicamente da seguinte forma:

$$y = \rho W y + \varepsilon \quad (12)$$

Onde ρ é coeficiente autorregressivo, Wy é um vetor n por 1 de defasagens da variável dependente. O coeficiente ρ é restrito ao intervalo aberto entre -1 e 1 ($|\rho| < 1$). (ALMEIDA, 2012)

Para existir autocorrelação espacial global positiva o parâmetro ρ tem que ser positivo. Isso implica que um alto (baixo) valor de y nas regiões vizinhas aumenta (diminui) o valor de y na região i . Caso o parâmetro ρ seja negativo haverá então autocorrelação global negativa, o que implicaria que um alto (baixo) valor de y nas regiões vizinhas diminui (aumenta) o valor de y na região i . A não existência de evidências de autocorrelação espacial irá acontecer quando ρ não for estatisticamente significativo. (ALMEIDA, 2012)

O modelo SAR puro mostra que a variável dependente y é influenciada por tal variável dependente, presente nas regiões vizinhas (Wy). A variável Wy é endógena, devido à multidirecionalidade da dependência espacial. As consequências são que os valores de y nas regiões vizinhas influenciam a variável dependente num processo de causação circular. (ALMEIDA, 2012)

Ao incluir-se uma variável explicativa exógena X (que é uma matriz de variáveis explicativas exógenas) obtemos o seguinte modelo matemático:

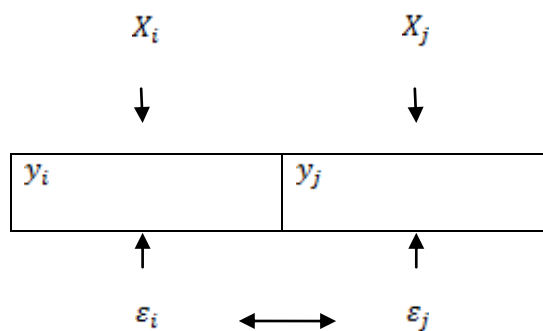
$$y = \rho Wy + X\beta + \varepsilon \quad (13)$$

Esse modelo é denominado de SAR misto e é pormenorizado para que o valor da variável dependente observado em uma determinada região seja definido pela média dos valores da variável dependente observados na vizinhança (Wy), pelos valores das variáveis explicativas exógenas (X), mesmo que seja influenciado aleatoriamente pelo termo de erro (ε). (ALMEIDA, 2012)

De acordo com Costa, Dentinho e Nijkamp (2011), afirmam que este modelo permite a variável dependente defasada, porque este modelo pode ser entendido como um misto do modelo de regressão simples e de auto-regressão na variável dependente.

2.8 MODELO DE ERRO AUTORREGRESSIVO ESPACIAL (SEM)

A dependência espacial é residual neste modelo e se caracteriza pela estrutura autorregressiva de primeira ordem no termo de erro. Este modelo se caracteriza por seu padrão espacial se manifestar no termo de erro é dado por efeitos não modelados por conta da falta de adequada medida, que não são distribuídos aleatoriamente no espaço, entretanto, ao contrario estão espacialmente autocorrelacionados. Os efeitos não modelados desta regressão não podem estar correlacionados com nenhuma das variáveis explicativas do modelo. (ALMEIDA, 2012) A seguir a representação esquemática deste modelo SEM:



Fonte: Elaborado pelos autores com base em Almeida (2012)

Figura 6 - Processo de erro espacial

Na figura o erro da região j está correlacionado com o da região i. Portanto, no modelo SEM a dependência espacial se manifesta no termo de erro e não na variável dependente. (ALMEIDA, 2012) Abaixo se encontra formalmente o modelo SEM:

$$y = X\beta + \xi \quad (14)$$

$$\xi = \lambda W\xi + \varepsilon \quad (15)$$

Onde o coeficiente λ é o parâmetro do erro autorregressivo espacial que se cerca pela defasagem $W\xi$. De acordo, com Almeida (2012) “neste modelo, os erros associados com qualquer observação são uma média dos erros nas regiões vizinhas mais um componente de erro aleatório” conforme expresso na equação $\xi = \lambda W\xi + \varepsilon$. (ALMEIDA, 2012)

Costa, Dentinho e Nijkamp (2011) explicam que este modelo admite que exista autocorrelação no termo de erro, indicando que algo se passa em termos territoriais, entretanto não é possível identificar o porquê, ou seja, o modelo pode possuir outro tipo de erro de especificação ou se deve a existência de variáveis omissas no modelo. (COSTA, DENTINHO E NIJKAMP, 2011)

O modelo SEM será utilizado para averiguar o formato da CKA no curto e no longo prazo, no lugar do modelo clássico, que apresentou problemas com alguns testes.

2.9 TESTE ÍNDICE DE MORAN (DIFUSO)⁴

O teste do I de Moran difuso se apresenta como sendo um teste sobre a autocorrelação espacial dos resíduos da regressão. Assumindo inicialmente a seguinte forma:

$$I = \frac{n}{S_0} \left(\frac{e'We}{e'e} \right) \quad (16)$$

Em que $e = y - X\hat{\beta}$, onde $\hat{\beta}$ é o melhor estimador de MQO para β e $\sum_i \sum_{iw_{ij}}$ equivale a S_0 . Este último (S_0) se iguala a n caso a matriz W seja normalizada na linha. O teste I de Moran, desta forma pode ser reescrito como:

$$I = \frac{e'We}{e'e} \quad (17)$$

⁴ Está seção está baseado Almeida (2012), Capítulo 7.

Pela equação acima nota-se que a estatística I é baseada nas somas de produtos cruzados de resíduos para regiões vizinhas. No caso de hipótese nula do teste supõe-se que os resíduos da regressão estimada por MQO são distribuídos aleatoriamente ao longo do espaço. O critério a hipótese nula é rejeitada então os resíduos são autocorrelacionados, já a hipótese alternativa é a existência da dependência espacial, entretanto não é especificada a forma de sua manifestação.

O problema do teste I de Moran é que este mesmo significativamente estatístico não indica qual o tipo de autocorrelação espacial predominante. Para se saber qual o tipo de autocorrelação predominante teremos que utilizar os testes focados, que será apresentado a seguir.

O teste do I de Moran difuso e os testes do multiplicador de Lagrange ajudarão a definir qual o melhor modelo a ser utilizado para averiguar o formato da CKA, caso o modelo clássico apresente problemas com testes estatísticos.

2.10 TESTE ML_ρ ⁵

Um dos testes usado para detectar a defasagem espacial da variável dependente é o teste do multiplicador de Lagrange, que é unidirecional, devido a ser estabelecida uma hipótese alternativa a respeito do processo estocástico gerador do erro, contendo unicamente um parâmetro espacial. O teste assume que o restante do modelo é especificado corretamente e se verifica apenas uma única especificação.

O teste é baseado no vetor escore e na matriz de informação sob a hipótese nula ($H_0: \rho = 0$), estabelecendo que o parâmetro do erro autorregressivo espacial assuma valor nulo, ou seja, $\lambda = 0$. Já a hipótese alternativa é estabelecida como $H_1 \neq 0$.

A fórmula do teste é descrita abaixo:

$$ML_\rho = \frac{\left(\frac{e'Wy}{S^2}\right)^2}{\left\{\frac{(WX\hat{\beta})'MWX\hat{\beta}}{S^2} + tr[W'W + W^2]\right\}} \quad (18)$$

⁵ Está seção está baseado Almeida (2012), Capítulo 7.

S^2 é a estimativa para variância do erro

β é um vetor com estimativas dos coeficientes MQO.

De acordo com ALMEIDA (2012):

No que tange ao poder do teste, sobretudo para pequenas amostras, Anselin e Rey (1991) descobriram que a estatística ML_ρ é robusta contra erros não normais, em especial para erros exponenciais e erros log-normais. Ademais, a estatística ML_ρ mostra-se também robusta na presença de heterocedasticidade. Outra vantagem deste teste é a relativa facilidade computacional, já que, sob a hipótese nula, pode ser calculada com base nos resíduos de uma regressão estimada por MQO. Assim sendo, tal teste compartilha dessa vantagem com o I de Moran. A outra vantagem é a discriminação do tipo de autocorrelação espacial presente nos dados na forma de defasagem (Wy) ou de erro ($W\xi$). A grande desvantagem do teste é representada pela falta de poder que acarreta a frequência rejeição da hipótese nula, mesmo quando ela é verdadeira. (Almeida, p.223, 2012)

2.11 TESTE ML_λ ⁶

Este outro teste do tipo Multiplicador de Lagrange, focado unidirecional, contra autocorrelação na forma do modelo SEM. A maneira de se calcular este teste segue os mesmos passos que o anterior. Em um primeiro momento se cria um logaritmo da função de máxima verossimilhança para o modelo SEM. Depois deriva-se o vetor escore sob a hipótese nula ($H_0: \lambda = 0$) assumindo que $\rho = 0$. A hipótese alternativa é $H_1: \lambda \neq 0$.

A estatística para este teste assumirá a seguinte expressão:

$$ML_\lambda = \frac{\left\{ \frac{e'We}{S^2} \right\}}{tr[W'W + w^2]} \quad (19)$$

Este teste tem apenas uma restrição envolvida, portanto, ele segue uma distribuição qui-quadrado com um grau de liberdade. A vantagem deste teste se reside em sua simplicidade computacional, necessitando para implanta-lo apenas os resíduos da regressão do modelo clássico estimado por MQO. Entretanto, esse teste

⁶ Está seção está baseado Almeida (2012), Capítulo 7.

apresenta a desvantagem de se rejeitar com muita frequência a hipótese nula, mesmo quando está é verdadeira.

2.12 TESTE ML_{λ}^* ROBUSTO⁷

O teste robusto busca uma correção para a má especificação do teste ML_{λ} . Ele busca levar em consideração a influência da autocorrelação na variável dependente sobre o teste ML_{λ} do erro. Para realizar isso, na sua fórmula, o teste ML_{λ} desconta tal efeito.

$$ML_{\lambda}^* = \frac{[d_{\lambda} - T\sigma^{2C^{-1}d_p}]^2}{[T(1 - T\sigma^2C)]} \quad (20)$$

$$C = (WX\hat{\beta})' M(WX\hat{\beta}) + T\sigma^2 \quad (21)$$

$$T = \text{tr}(WW + W'W) \quad (22)$$

Onde d_p e d_{λ} , representam respectivamente os escores da defasagem e do erro. Por meio de d_p e da incorporação da covariância entre d_p e d_{λ} na primeira fórmula o ML_{λ}^* corrige o teste ML_{λ} para a presença de $\rho \neq 0$.

2.13 TESTE ML_{ρ}^* ROBUSTO⁸

O teste robusto busca uma correção para a má especificação do teste ML_{ρ} . Com o intuito de lidar com a má especificação ($\lambda \neq 0$) local do modelo é incorporado um fator de correção.

$$ML_{\rho}^* = \frac{[d_p - d_{\lambda}]^2}{\left[\frac{C}{\sigma^2} - T\right]} \quad (23)$$

⁷ Está seção está baseado Almeida (2012), Capítulo 7.

⁸ Está seção está baseado Almeida (2012), Capítulo 7.

A distribuição deste teste ocorre de acordo com uma qui-quadrado com um grau de liberdade. Os fatores de correção para resolver a má especificação envolve a covariância entre d_y e d_p e o vetor escore d_λ na fórmula.

2.14 DADOS DA ANÁLISE ESPACIAL

A Curva de Kuznets Ambiental faz a relação entre pressão ambiental e nível de renda. Como o objetivo é verificar estatisticamente que existe relação entre essas variáveis, utiliza-se o PIB per capita e para a pressão ambiental escolhe-se uma variável medida globalmente e resultante da atividade humana a emissão de CO₂ per capita.

Os dados foram coletados através do site do Banco Mundial (The World Bank, 2014), contendo 214 regiões. Às regiões que não possuíam valores para as duas variáveis foram atribuídos o valor zero. As amostras coletadas foram com relação ao PIB per capita dos países e suas emissões de CO₂ cúbicas per capita. Os anos de 1994 e 2009 foram os selecionados para o estudo. As variáveis foram analisadas usando o programa GEODA. Somente foram analisadas as regiões que formaram estatisticamente significativamente e apresentaram relações de vizinhança formando clusters Alto-Alto e Baixo-Baixo.

2.15 DADOS E MODELO DA ANÁLISE DA REGRESSÃO ATRAVÉS DO GEODA

Os dados foram coletados através do site do Banco Mundial (The World Bank, 2014), contendo 214 regiões. Às regiões que não possuíam valores para qualquer das uma das variáveis foi atribuído o valor zero para todas as demais. As variáveis foram analisadas usando o programa GEODA.

A análise se limitou a estudar as relações espaciais para uma possível existência da CKA para os anos 1994 e 2009. A variável ambiental dependente utilizada no modelo foi o dióxido de carbono per capita, por ser o principal responsável pelo efeito estufa e ser globalmente medido. As principais variáveis

independentes utilizadas para a comprovação da CKA foi o PIB per capita, o PIB per capita ao quadrado e o PIB per capita ao cubo.

Além das variáveis independentes citadas acima, a análise do CO₂ per capita foram incluídas as variáveis exportações per capita e o consumo de energia per capita. A especificação do modelo foi com base no apresentado por Almeida e Carvalho (2010) no trabalho “A hipótese da curva de Kuznets ambiental global: uma perspectiva econométrico-espacial”. Caso alguma variável não possui valor para determinado país, está variável e as demais deste país receberam o valor zero, para evitar viesar os dados, que foram capitados através do site do Banco Mundial.

O modelo assumiu a seguinte forma funcional para o modelo clássico:

$$CO_{2i} = \beta_0 + \beta_1 PIB_i + \beta_2 PIB_i^2 + \beta_3 PIB_i^3 + \beta_4 ENG_i + \beta_5 EXP_i + \mu_i \quad (29.1)$$

Onde CO_{2i} representa as emissões de dióxido de carbono per capita no país i ; PIB_i é o produto interno bruto no país i ; PIB_i^2 é o quadrado da variável PIB_i ; PIB_i^3 é o cubo da variável PIB_i ; ENG_i representa o consumo de energia per capita do país i ; EXP_i são as exportações per capita no país i ; μ_i é o termo de erro do modelo. Por fim as letras gregas são os parâmetros a serem estimados.

Já a forma funcional do modelo de defasagem espacial com erro autorregressivo espacial apresenta o seguinte formato:

$$CO_{2i} = \beta_0 + \rho W_1 CO_{2i} + \beta_1 PIB_i + \beta_2 PIB_i^2 + \beta_3 PIB_i^3 + \beta_4 ENG_i + \beta_5 EXP_i + \mu_i$$

$$\mu_i = \lambda W_2 \mu_i + \varepsilon_i \quad (29.2)$$

Onde W_1 e W_2 são matrizes de pesos espaciais, que tentarão capturar a estrutura de dependência espacial e ε_i representa o termo de erro e tem média zero e variância constante.

Quando se tem $\lambda = 0$ e $\rho \neq 0$ estaremos diante do modelo de defasagem espacial. Entretanto, se $\lambda \neq 0$ e $\rho = 0$ o modelo do erro espacial é obtido.

Para comprovarmos a hipótese da CKA na forma de U invertido será necessário que o coeficiente β_1 seja positivo e significativo, ao passo que o coeficiente β_2 apresente sinal negativo e ser significativo. Caso se o β_3 também for

significativo e apresentar sinal positivo, isso implicará em evidências de que a CKA em um prazo de tempo maior possuirá um formato de N.

O coeficiente β_4 deverá assumir valor positivo, porque teoricamente aumentos no consumo de energia devem aumentar a emissão do dióxido de carbono, uma vez que as fontes produtoras de energia em grande parte emitem esse gás para gerar energia, de acordo com Almeida e Carvalho (2010).

De acordo com Stern *et al.*, (1996), alterações nas estruturas das economias e as modificações dos padrões internacionais de qualidade ambiental induzirão os países a se especializarem em atividades que consumam menos recursos naturais e energia, portanto, espera-se que a variável exportações per capita (β_5) assumam um valor negativo.

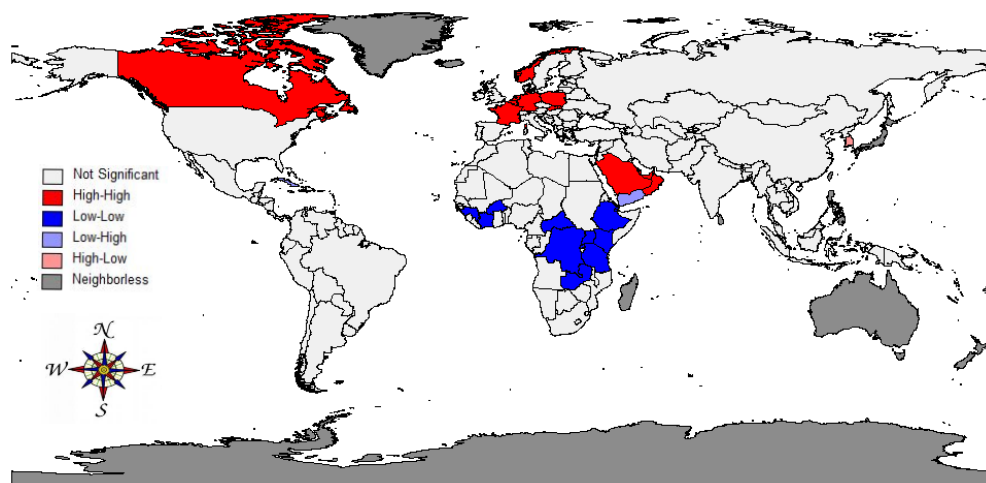
3 RELAÇÃO MUNDIAL ENTRE RENDA E EMISSÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO

Esta parte da dissertação descreve, num primeiro momento, a relação espacial univariada da emissão de dióxido de carbono per capita. Num segundo momento tem-se a relação espacial entre emissão de gás carbônico per capita e PIB *per capita*.

3.1 RELAÇÃO ESPACIAL UNIVARIADA DA EMISSÃO DE CO₂ PER CAPITA.

As amostras coletadas foram com relação ao PIB per capita dos países e suas emissões de CO₂ cúbicas per capita. Os anos de 1994 e 2009 foram os selecionados para o estudo. As variáveis foram analisadas usando o programa GEODA. Somente foram analisadas as regiões que formaram estatisticamente significativamente e apresentaram relações de vizinhança formando clusters Alto-Alto e Baixo-Baixo. Os mapas foram obtidos através da análise exploratória de dados que busca investigar os padrões de associações espaciais (clusters).

Na figura 7 há dois clusters de CO₂ per capita univariados Alto-Alto, envolvendo os seguintes países: no primeiro Polônia, Países Baixos, Noruega, Alemanha, Bélgica, Eslováquia. No segundo estão presentes os seguintes países, Arábia Saudita, Omã, Emirados Árabes Unidos. Pode-se dizer que essas áreas possuem elevadas emissões de CO₂ per capita e estão circundados por regiões com alta emissão de CO₂ per capita.



Fonte: Elaborado pelo autor através do programa GEODA

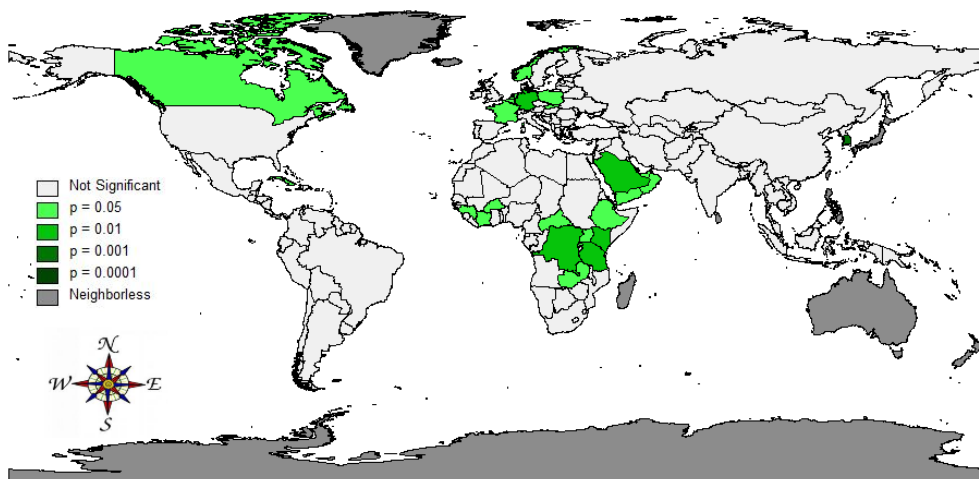
Figura 7 - Mapa de Clusters da emissão per capita de CO₂ do ano de 1994.

Existem também dois clusters Baixo-Baixo univariados na figura 7, as regiões que contemplam o primeiro cluster são Guiné, Costa do Marfim, Burkina Faso. No segundo estão presentes os seguintes países Etiópia, Quênia, Tanzânia, Uganda, Zâmbia, Ruanda, República Democrática do Congo e República Centro Africana. Entende-se que essas áreas possuem baixas emissões de CO₂ per capita e estão circundados por regiões com baixa emissão de CO₂ per capita. A região branca do gráfico não apresentou valores significativos, enquanto a região cinza não apresentou relação de vizinhança.

<u>Clusters Alto-Alto</u>	<u>Clusters Baixo-Baixo</u>
1. Polônia, Países Baixos, Noruega, Alemanha, Bélgica, Eslováquia; 2. Arábia Saudita, Omã, Emirados Árabes Unidos.	1. Guiné, Costa do Marfim, Burkina Faso; 2. Etiópia, Quênia, Tanzânia, Uganda, Zâmbia, Ruanda, República Democrática do Congo e República Centro Africana.

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 2 – Clusters formados da emissão per capita de CO₂ do ano de 1994

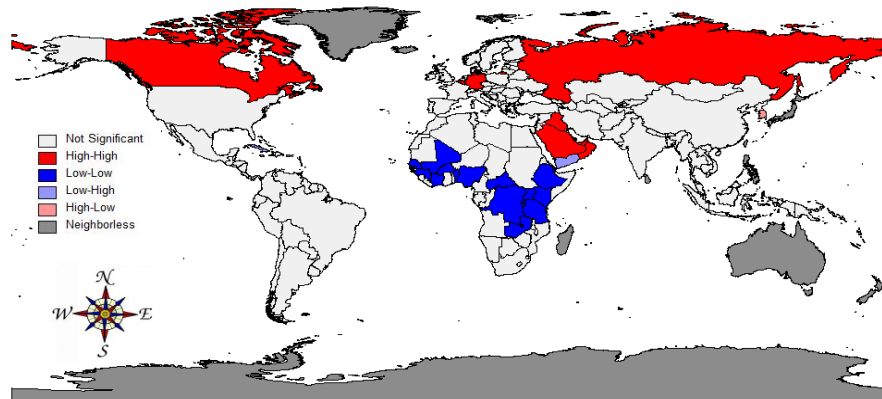


Fonte: Elaborado pelo autor através do programa GEODA

Figura 8 - Mapa do nível significância do ano de 1994

O nível de significância dos resultados é apresentado pela figura 8. A parte branca é não significativa, enquanto a parte cinza representa as regiões que

não apresentou relação de vizinha. O nível de significância dos resultados vai aumentando conforme o verde vai se escurecendo, ou seja, quanto mais escuro for o verde mais significativo é o resultado.



Fonte: Elaborado pelo autor através do programa GEODA

Figura 9 - Mapa de Clusters da emissão per capita de CO₂ do ano de 2009

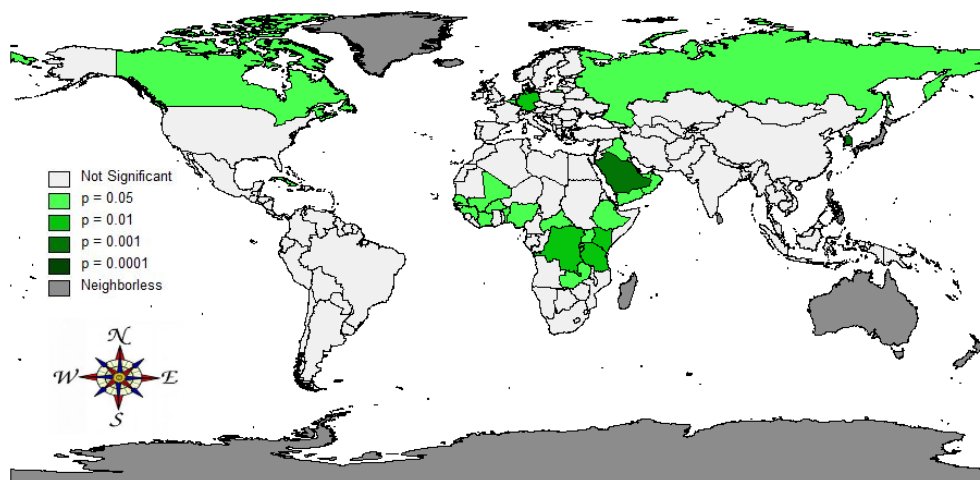
A figura mostra que há dois clusters de CO₂ per capita univariados Alto-Alto, envolvendo os seguintes países no primeiro Alemanha e Bélgica. No segundo estão presentes os seguintes países, Iraque, Arábia Saudita, Omã, Emirados Árabes Unidos. Pode-se dizer que essas áreas possuem elevadas emissões de CO₂ per capita e estão circundados por regiões com alta emissão de CO₂ per capita.

Há também dois clusters Baixo-Baixo univariados na figura 9, as regiões que contemplam o primeiro cluster são Guiné, Costa do Marfim, Burkina Faso, Nigéria, Benim, Mali e Senegal. No segundo estão presentes os seguintes países Etiópia, Quênia, Tanzânia, Uganda, Zâmbia, Ruanda, República Democrática do Congo, República Centro Africana e Burundi. Supõe-se que essas áreas possuem baixas emissões de CO₂ per capita e estão África são reflexos diretos das más condições econômicas, sociais e políticas que este continente vive circundado por regiões com baixa emissão de CO₂ per capita. A região branca do gráfico não apresentou valores significativos, enquanto a região cinza não apresentou relação de vizinhança.

<u>Clusters Alto-Alto</u>	<u>Clusters Baixo-Baixo</u>
1. Alemanha e Bélgica; 2. Iraque, Arábia Saudita, Omã, Emirados Árabes Unidos.	1. Guiné, Costa do Marfim, Burkina Faso, Nigéria, Benim, Mali e Senegal; 2. Etiópia, Quênia, Tanzânia, Uganda, Zâmbia, Ruanda, República Democrática do Congo, República Centro Africana e Burundi.

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 3 – Clusters formados da emissão per capita de CO2 do ano de 1994



Fonte: Elaborado pelo autor através do programa GEODA

Figura 10 - Mapa do nível significância do ano de 2009

O nível de significância dos resultados é apresentado pela figura 10. A parte branca é não significativa, enquanto a parte cinza representa as regiões que não apresentou relação de vizinha. O nível de significância dos resultados vai aumentando conforme o verde vai se escurecendo, ou seja, quanto mais escuro for o verde mais significativo é o resultado.

Percebe-se que os clusters Alto-Alto sofreram algumas modificações, no primeiro em 2009 apenas apareceram Alemanha e Bélgica, no segundo no mesmo ano apenas houve a inclusão do Iraque. Os clusters Baixo-Baixo também

sofreram algumas mudanças entre elas, no primeiro no ano de 2009, houve a inclusão de Burundi, no segundo no mesmo ano, Nigéria, Benim, Mali e Senegal foram incluídos. Além das modificações nos clusters também se percebe novos países Alto-Alto que não formaram clusters, como a Rússia.

O protocolo de Kyoto deve reduzir as emissões de CO₂ per capita. Provocando modificações no cenário dos mapas principalmente onde se concentra os países presentes no Anexo I que tem metas obrigatórias, no caso principalmente a Europa.

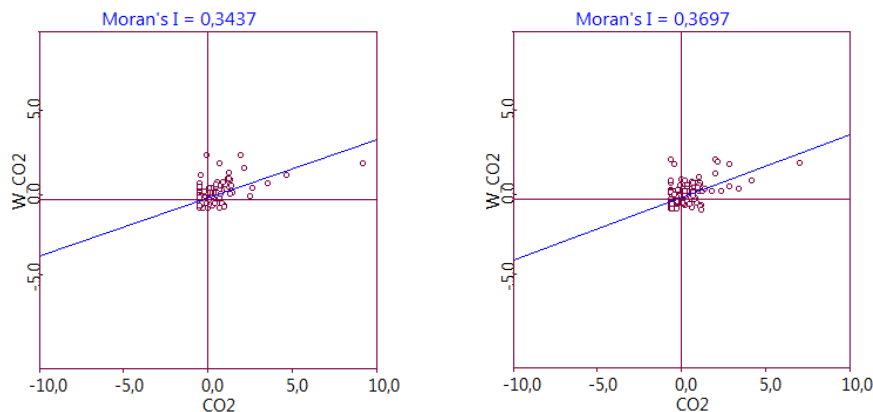
Ao comparar os mapas de 1994 e 2009 a expectativa com relação às alterações do cenário devido em partes ao protocolo de Kyoto é considerável, principalmente na Europa, ocorrendo uma clara modificação do cluster alto-alto formado. Em 1994 o cluster era composto por Polônia, Países Baixos, Noruega, Alemanha, Bélgica e Eslováquia e em 2009 apenas Alemanha e Bélgica mantiveram a relação Alto-Alto significativa, portanto representando uma melhora nos níveis de emissão de CO₂ per capita nas relações de vizinha entre os países.

O segundo cluster formado Alto-Alto não são de países presentes no Anexo I, portanto não possuem metas obrigatórias, isso pode ter levado ao aumento de países neste cluster. No ano de 1994 o cluster era formado por Arábia Saudita, Omã, Emirados Árabes Unidos. Já no ano de 2009 por Iraque, Arábia Saudita, Omã, Emirados Árabes Unidos.

As mudanças são lentas nas relações de vizinha de emissão de CO₂ per capita e certamente refletem acordos internacionais, como o protocolo de Kyoto, e políticas internas adotadas para a contenção da emissão de CO₂. O cluster Alto-Alto formado na Europa sofreu significativa mudança e o protocolo de Kyoto com o objetivo de reduzir as emissões de CO₂ provavelmente ajudou nestas modificações, porque foi adotado principalmente pelos países europeus e suas obrigações são mais significativas para estes (lembrando que as metas são obrigatórias apenas para os países no Anexo I, este contempla a maioria dos países europeus) é onde ocorreu maior modificação relativa nas relações de vizinha nos anos analisados.

Nota-se que os clusters Baixo-Baixo se concentram principalmente na África provavelmente devido aos problemas sociais, políticos e econômicos presentes neste continente que fazem sua atividade econômica e a renda na região ser relativamente baixa comparada ao restante do mundo. Na Europa temos uma atividade econômica relativamente mais elevada devido às condições sociais

políticas e econômicas mais estáveis, além de fortes acordos econômicos na região, como a União Europeia, que propiciam uma renda maior na região, além de uma maior integração entre esses países nas áreas sociais, política, econômica e cultural. O resultado dessa disparidade cultural, econômica e social resulta em uma emissão mais baixa de CO₂ per capita no continente africano.



Fonte: Elaborado pelo autor através do programa GEODA

Figura 11 - Diagrama de dispersão para o ano de 1994 e 2009 respectivamente.

Analisando a figura 10, o resultado indica a existência de autocorrelação espacial positiva para emissão de CO₂ per capita cúbica para o ano de 1994 e 2009, ou seja, o I de Moran univariado é positivo (0,3437 e 0,3697 respectivamente) e este é maior que o I de Moran previsto (-0,004). Em outras palavras, o I de Moran é estatisticamente significativo, rejeitando-se a hipótese nula da aleatoriedade espacial.

Ao comparar os I de Moran, nota-se que o ano de 2009 possui um I de Moran maior com relação ao ano de 1994. Tal resultado sugere que está havendo um aumento na relação de vizinhança espacial entre as regiões. Em outras palavras, a relação de emissão de CO₂ cúbica per capita de uma dada região está tendo um maior impacto em outra dada região vizinha. Como os indicadores são significativos percebe-se também que a emissão de CO₂ cúbica per capita apresenta concentração em determinadas áreas, como visto nos mapas anteriores.

Na região Baixo-Baixo do diagrama acima se situam agrupamentos que apresentam valores baixos e suas regiões também apresentam valores baixos. Já as regiões Alto-Alto do diagrama encontram-se agrupamentos que apresentam valores altos e suas regiões também apresentam valores altos. No quadrante Alto-

Baixo, encontram-se agrupamentos que apresentam altos valores e que são cercados por regiões com baixos valores. Finalmente, no quadrante Baixo-Alto, se situam agrupamentos que apresentam baixos valores e que são cercados por regiões com altos valores.

Ao comparar os I de Moran univariados obtidos para emissão de CO₂ per capita (0,3437 e 0,3697 respectivamente) com os obtidos pelo PIB per capita (que apresentaram os seguintes valores 0,5910 e 0,5126 respectivamente), percebe-se que a uma relação inversa entre eles. Ou seja, um aumento no I de Moran da emissão de CO₂ per capita leva a uma queda no I de Moran do PIB per capita, mais que proporcional. A seguir, serão apresentados os resultados dos I de Moran bivariados que são significativos, portanto, existe relação entre as variáveis. Estes fatos revelam uma provável existência da curva de Kuznets Ambiental com o formato de U invertido.

Os resultados obtidos com a estatística I de Moran estão de acordo com a expectativa teórica da curva de Kuznets Ambiental, ela prevê que nos estágios iniciais do desenvolvimento econômico, no nosso caso as emissões de CO₂ per capita, se elevarão conforme a renda per capita aumentar, entretanto, somente até certo ponto. A partir de certo nível as emissões de CO₂ per capita irão começar a declinar com os aumentos na renda per capita, como resultados se tem que no curto prazo a CKA assumira o formato de U invertido.

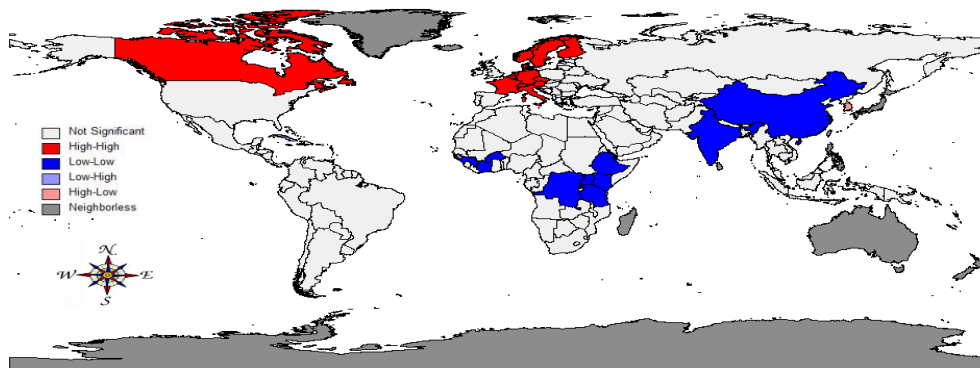
Como já mencionado Almeida e Carvalho (2010) explica que isso ocorre porque a produção está aumentando e o país inicialmente está limitado pela sua baixa renda, o que faz ele utilizar pouca ou nenhuma técnica para controlar as suas emissões de poluentes. Conforme a renda vai aumentando e a produção deste país se torna mais competitiva, as prioridades dele mudaram para um controle maior das suas emissões de poluentes. Portanto, nota-se a existência de uma relação inversa entre a emissão de CO₂ per capita e renda per capita.

Percebe-se que a estatística I de Moran também está tendo este comportamento, no ano de 1994 se obteve o valor de 0,34 para o mapa de emissões de CO₂ per capita e 0,36 para o ano de 2009. A estatística I de Moran univariada do mapa de emissão de CO₂ per capita sofreu um leve aumento de 0,02. Como a relação é inversa espera-se que o mapa de PIB per capita tenha sofrido uma queda e mais que proporcional. Obtém-se o valor de 0,59 para o I de Moran de 1994 do mapa de PIB per capita e 0,51 para o ano de 2009, portanto uma queda na

estatística de 0,08, em proporção maior que o aumento estatística do mapa de emissão de CO₂.

3.2 RELAÇÃO ESPACIAL ENTRE EMISSÃO DE GÁS CARBÔNICO PER CAPITA E PIB PER CAPITA

A Figura 11 mostra que há um cluster bivariado Alto-Alto envolvendo os seguintes países, França, Itália, Suíça, Áustria, Alemanha, Países Baixos, Bélgica, Dinamarca, Reino da Noruega, Suécia e Finlândia. Pode-se dizer que essas áreas possuem elevadas emissões de CO₂ per capita e estão rodeadas por regiões com elevada renda per capita.



Fonte: Elaborado pelo autor através do programa GEODA

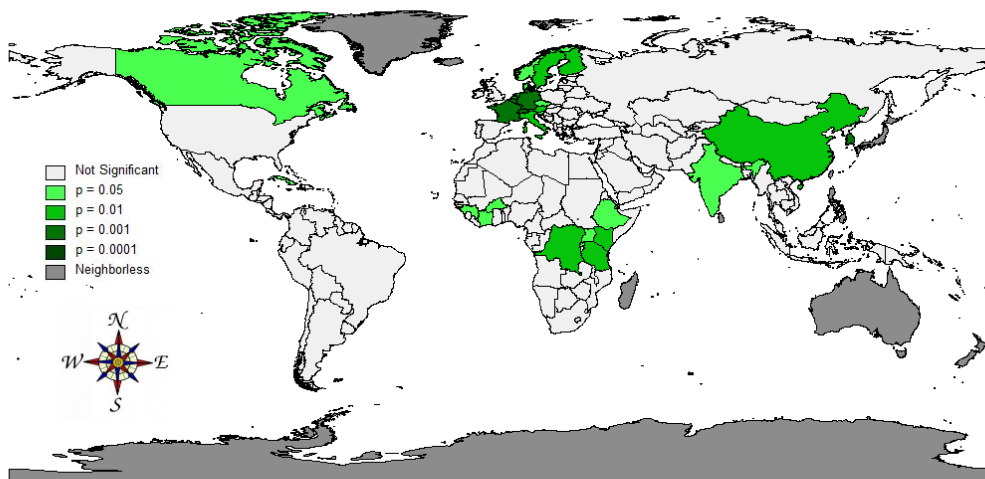
Figura 12 - Mapa de Clusters para a relação entre emissões de CO₂ cúbica per capita e PIB per capita para o ano de 1994

Existem também três clusters bivariado Baixo-Baixo, o primeiro contemplando os seguintes países, China e Índia. O segundo contendo as seguintes regiões Etiópia, Quênia, Tanzânia, Burundi, Ruanda, Uganda, Congo, e Benim. O ultimo é formado pelos seguintes países Burkina Faso, Costa do Marfim e Guiné. Essa região possui países com baixa emissão de CO₂ per capita que estão rodeados por regiões com baixa renda per capita. Existe ainda uma relação Alto-Baixo para Coreia do Sul, o que significa uma relação de emissão de CO₂ alta com uma renda per capita abaixo da média. A região branca do gráfico não apresentou valores significativos, enquanto a região cinza não apresentou relação de vizinhança.

<u>Clusters Alto-Alto</u>	<u>Clusters Baixo-Baixo</u>
1. França, Itália, Suíça, Áustria, Alemanha, Países Baixos, Bélgica, Dinamarca, Reino da Noruega, Suécia e Finlândia	1. China e Índia; 2. Etiópia, Quênia, Tanzânia, Burundi, Ruanda, Uganda, Congo, e Benim; 3. Burkina Faso, Costa do Marfim e Guiné

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 4 – Clusters formados na relação entre emissões de CO₂ cúbica per capita e PIB per capita para o ano de 1994



Fonte: Elaborado pelo autor através do programa GEODA.

Figura 13 - Mapa de Significância do ano de 1994

O nível de significância dos resultados é apresentado pela figura 13. A parte branca é não significativa, enquanto a parte cinza representa as regiões que não apresentou relação de vizinha entre as variáveis. O nível de significância dos resultados vai aumentando conforme o verde vai se escurecendo, ou seja, quanto mais escuro for o verde mais significativo é o resultado.

Agora analisando para o ano de 2009, a figura 14 mostra que há um cluster bivariado Alto-Alto envolvendo os seguintes países, Reino Unido, França, Itália, Suíça, Áustria, Alemanha, Bélgica, Países Baixos, Noruega, Suécia e Finlândia. Pode-se dizer que essas áreas possuem elevadas emissões de CO₂ per capita e estão rodeadas por regiões com elevada renda per capita.

Há também dois clusters bivariado Baixo-Baixo, o primeiro contemplando os seguintes países, Etiópia, Uganda, Quênia, Ruanda, Tanzânia, Congo e Zâmbia. O segundo se constitui pelos seguintes estados Burkina Faso, Mali, Costa do Marfim, Guiné e Senegal. Essa região possui países com baixa emissão de CO₂ per capita que estão rodeados por regiões com baixa renda per capita. Existe ainda uma relação Alto-Baixo para Coreia do Sul e China, o que significa uma relação de emissão de CO₂ elevada com uma renda per capita abaixo da média.

<u>Clusters Alto-Alto</u>	<u>Clusters Baixo-Baixo</u>
1. Reino Unido, França, Itália, Suíça, Áustria, Alemanha, Bélgica, Países Baixos, Noruega, Suécia e Finlândia.	1. Etiópia, Uganda, Quênia, Ruanda, Tanzânia, Congo e Zâmbia; 2. Burkina Faso, Mali, Costa do Marfim, Guiné e Senegal.

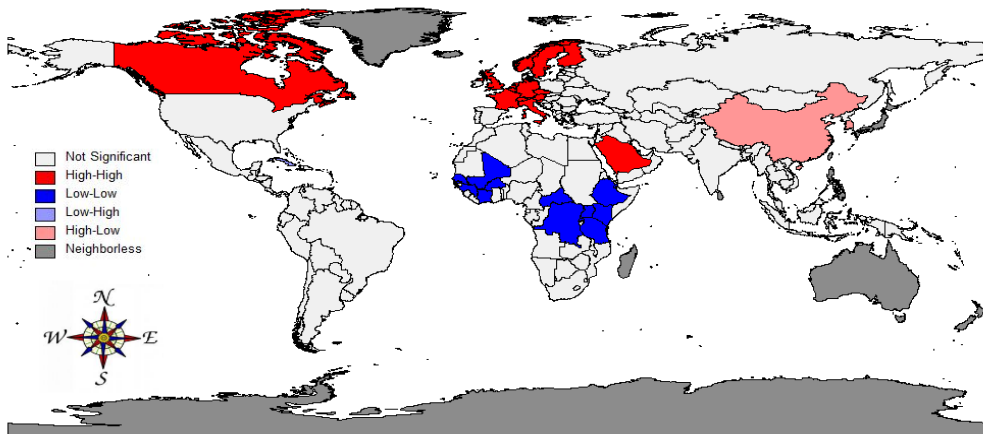
Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 5 – Clusters formados na relação entre emissões de CO₂ cúbica per capita e PIB per capita para o ano de 2009

Ao comparar os resultados obtidos de 1994 com 2009, percebe-se uma pequena mudança nas relações espaciais, portanto, as relações de autocorrelação entre as variáveis analisadas se alteram lentamente. Ou seja, a relação espacial entre emissão de CO₂ cúbica per capita e PIB per capita se modificam pouco no tempo, resultando em clusters praticamente idênticos. Nota-se isso claramente ao verificar que no cluster Alto-Alto, por exemplo, ouve a inclusão apenas do Reino Unido.

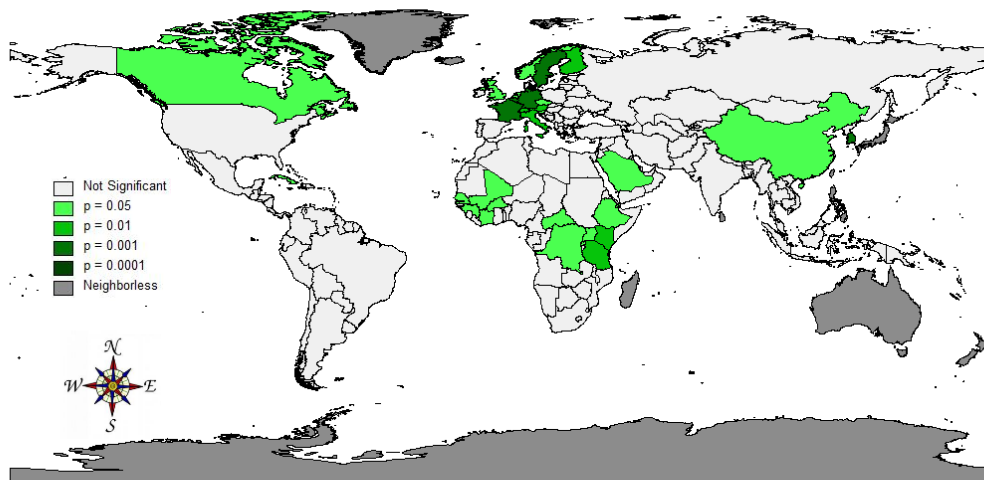
Ao observar os clusters formados tanto para o ano de 1994 e 2009 percebe-se também uma contradição entre o continente Africano e Europeu, o primeiro com clusters Baixo-Baixo e o outro com clusters Alto-Alto que parecem refletir as condições sociais, políticas e econômicas de cada região. A Europa apresenta condições sociais políticas e econômicas mais estáveis, além de fortes acordos econômicos na região, como a União Europeia, que propiciam uma renda maior na região, além de uma maior integração entre esses países nas áreas sociais, política, econômica e cultural. Na África tem se justamente o contrario, guerras, conflitos internos, economias incipientes, entre outros problemas culturais, sociais, políticos e econômicos, que fazem a renda nesta região normalmente

apresentar valores baixos e desiguais ao restante do mundo. A região branca do gráfico não apresentou valores significativos, enquanto a região cinza não apresentou relação de vizinhança.



Fonte: Elaborado pelo autor através do programa GEODA

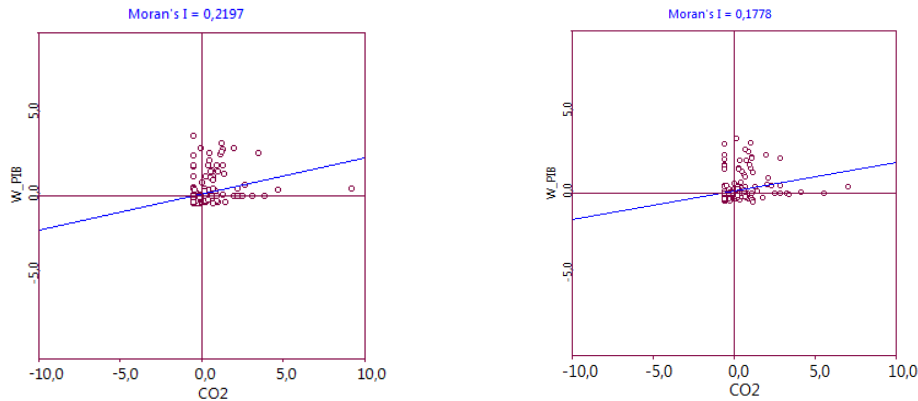
Figura 14 - Mapa de Clusters para a relação entre emissões de CO2 cúbica per capita e PIB per capita para o ano de 2009



Fonte: Elaborado pelo autor através do programa GEODA

Figura 15 - Mapa de Significância do ano de 2009

O nível de significância dos resultados é apresentado pela figura 14. A parte branca é não significativa, enquanto a parte cinza representa as regiões que não apresentaram relação de vizinhança entre as variáveis. O nível de significância dos resultados vai aumentando conforme o verde vai se escurecendo, ou seja, quanto mais escuro for o verde mais significativo é o resultado.



Fonte: Elaborado pelo autor através do programa GEODA

Figura 16 - Diagrama de dispersão para o ano de 1994 e 2009 respectivamente

Observando o diagrama acima, o resultado para o ano de 1994, indica a existência de autocorrelação espacial positiva para emissão de CO₂ per capita cúbica e o PIB per capita, ou seja, o I de Moran bivariado é positivo (0,2197) e este é maior que o I de Moran previsto (-0,004). Em outras palavras, o I de Moran é estatisticamente significativo, rejeitando-se a hipótese nula da aleatoriedade espacial. A interpretação é que as regiões que apresentam elevada emissão de CO₂ cúbica per capita tendem a estarem rodeadas por microrregiões vizinhas com um PIB per capita alto, as regiões com baixa emissão de CO₂ cúbica per capita são vizinhas de microrregiões com baixa renda per capita (PIB per capita).

Analisando a Figura 15 para o ano de 2009, o resultado indica a existência de autocorrelação espacial positiva para emissão de CO₂ per capita cúbica e o PIB per capita, ou seja, o I de Moran bivariado é positivo (0,1778) e este é maior que o I de Moran previsto (-0,004). Em outras palavras, o I de Moran é estatisticamente significativo, rejeitando-se a hipótese nula da aleatoriedade espacial. A interpretação é que as regiões que apresentam elevada emissão de CO₂ cúbica per capita tendem a estarem rodeadas por microrregiões vizinhas com um PIB per capita alto, as regiões com baixa emissão de CO₂ cúbica per capita são vizinhas de microrregiões com baixa renda per capita (PIB per capita).

De acordo com Almeida (2012), no primeiro quadrante do diagrama de dispersão de Moran, situa-se os valores Alto-Alto (são as regiões com valores altos de emissão de CO₂ cúbica per capita, no eixo das abscissas, circundados por regiões que também possuem valores altos da outra variável (PIB per capita), estão no eixo das ordenadas), no segundo quadrante temos os valores Baixo-Alto (são

regiões com valores baixos de emissão de CO₂ cúbica per capita no eixo das abscissas, circunvizinhos por regiões com valores altos da outra variável), o terceiro quadrante apresenta os valores Baixo-Baixo (significa que os valores baixo de emissão de CO₂ cúbica per capita são vizinhos dos valores baixo do PIB per capita) e o quarto quadrante exhibe o agrupamento Alto-Baixo (neste os valores Alto da variável analisada (de emissão de CO₂ cúbica per capita) estão rodeados pelos valores baixo da renda per capita).

Ao comparar os I de Moran dos anos de 1994 e 2009, respectivamente 0,2197 e 0,1778, notamos que o ano de 1994 possui um I de Moran maior com relação ao ano de 2009. Tal resultado sugere que está havendo uma diminuição na relação espacial entre as regiões. Em outras palavras a relação de emissão de CO₂ cúbica per capita e PIB per capita de uma dada região está tendo um menor impacto em outra dada região vizinha.

De acordo com Almeida e Carvalho (2010) a estatística I de Moran bivariada objetiva verificar se os valores observados em uma dada região guardam alguma relação com os valores observados de outra variável em regiões vizinhas, ou seja, se pretende verificar a existência de um padrão global entre duas variáveis diferentes.

Como a estatística I de Moran bivariada apresentou valor significativo, aceitamos a hipótese da existência de relação entre a emissão de CO₂ per capita e PIB per capita. Que de acordo com a teoria econômica deverá apresentar comportamento descrito pela curva de Kuznets Ambiental, que afirma que nos estágios iniciais do desenvolvimento econômico o aumento da renda leva a aumentos na poluição, entretanto, a partir de certo ponto a poluição começa a cair com os aumentos na renda.

Isso ocorre porque nos estágio iniciais do crescimento econômico em um país com baixa renda a preocupação se concentra e amplia lá mesmo que isso ocasione a degradação do meio ambiente, pela falta ou pela inexistência de técnicas que limitem as emissões de poluentes. Conforme a renda e a produtividade vão aumentando o meio ambiente passa a se tornar prioridade e técnicas de controle da emissão de poluentes são adicionadas a produção, provocando queda nas emissões de poluentes, mesmo com aumentos da renda.

Como todos os indicadores do I de Moran apresentados anteriormente são significativos, sugerindo a existência de relação espacial entre as variáveis PIB

per capita e CO₂ per capita, portanto, este é mais indício da provável existência da curva de Kuznets ambiental. O formato da curva no curto prazo deverá ter um formato de U invertido, uma vez que os resultados apresentados pela análise univariada realizada no capítulo anterior mostra resultados que nos levam a essa conclusão.

3.2.1 Análise da Regressão para o Ano de 1994

Primeiramente estimou-se uma regressão do CO₂ per capita (variável dependente), contra o PIB per capita, PIB per capita ao quadrado, PIB per capita ao cubo, consumo de energia per capita e exportações per capita, pelo método dos mínimos quadrados ordinários, sem considerar a relação espacial. A Tabela 1 apresenta os resultados.

Tabela 1 - Modelo Clássico 1994

Modelo Clássico	Ano 1994	
<i>Variáveis</i>	<i>Coeficiente</i>	<i>Probabilidade</i>
Constante	-0,02960575	0,9237847
PIB per capita	0,001470421	0,00
PIB per capita ao quadrado	-8,39E-08	0,0000002
PIB per capita ao cubo	1,21E-12	0,000024
Consumo de energia per capita	0,000780499	0,0000007
Exportações per capita	0,000166859	0,0807544
R ²	0,579161	
Número de Condição de Multicolinearidade	38,628411	–
Estatística Jarque-Bera	41757,38	0,00
Teste Koenker-Basset	30,17692	0,0000136
<i>Matriz de Pesos Espaciais</i>	<i>Coeficiente</i>	<i>Probabilidade</i>
	MI/DF	
Teste I de Moran	0,193306	0,0000003
LM (error)	23,3390561	0,0000014
LM Robusto (error)	13,5812621	0,0002285
LM (lag)	9,7642603	0,0017794
LM Robusto (lag)	0,0064663	0,9359086
LM (SARMA)	23,3455224	0,0000085

Fonte: Elaboração dos autores com base no programa GEODA.

A variável dependente é explicada por 57,9% das variáveis independentes presentes no modelo, ou seja, o R^2 apresentou valor igual 0,579. Os coeficientes que foram significativos ao nível de significância de 1% são o PIB per capita, o PIB per capita ao quadrado, o PIB per capita ao cubo e o consumo de energia per capita. O coeficiente exportação per capita foi significativo ao nível de significância de 10% e a constante não apresentou valor significativo.

Os coeficientes estão de acordo com a expectativa teórica, com exceção das exportações per capita. O coeficiente das exportações per capita apresentou valor positivo, sugerindo que existe uma relação positiva entre comércio internacional e emissões de CO_2 , quando o esperado era que esta variável apresenta-se sinal negativo. Porque a expectativa é que o comércio internacional ajude nas especializações das economias, o que significaria um menor consumo de energia e recursos naturais, de acordo com Stern *et al.*, (1996), resultando em uma queda nas emissões de CO_2 per capita.

O consumo de energia também apresentou sinal positivo, significando que esta variável impacta positivamente no aumento das emissões de CO_2 . O sinal positivo assumido por esta variável já era esperado uma vez que as fontes produtoras de energia em grande parte emitem esse gás para gerar energia.

O PIB per capita apresentou valores positivos, o que significa que esta variável impacta de forma positiva para o aumento das emissões per capita de CO_2 . Observa-se que ao duplicar esta variável, ela passa a receber sinal negativo, ou seja, o PIB per capita ao quadrado passa a impactar negativamente na emissão de CO_2 per capita. Esse resultado está de acordo com a teoria da CKA e no curto prazo ela assumirá o formato de uma curva de U invertido.

Em outras palavras, de início as emissões de CO_2 aumentarão conforme a renda aumenta, porém somente até certo ponto. Depois de atingido este ponto os aumentos na renda começarão a provocar quedas na emissão de CO_2 . Finalmente, se estimou o PIB per capita ao cubo para verificar se os aumentos na renda continuariam indefinidamente provocando quedas na emissão de CO_2 , o resultado apresentado foi positivo indicando que novos aumentos na renda a partir de certo ponto faria novamente a emissão de CO_2 voltar a crescer. Este fato nos leva a entender que em um prazo maior a CKA assumiria um formato de N, como descrito na teoria acima.

Nos diagnósticos da regressão nota-se a existência de uma multicolinearidade que vai de moderada a forte. Observa-se que o teste Jarque-Bera indica a presença de não normalidade, ao passo que o teste de Koenker-Basset confirma que os resíduos da regressão são homocedásticos.⁹ Como o modelo clássico apresentou esses problemas utilizamos o teste do I de Moran a fim de saber qual o melhor modelo que explica as variáveis analisadas.

O teste I de Moran apresentou valor significativo, revelando a existência de autocorrelação espacial. Como o teste do I de Moran não mostra qual o tipo de correlação presente no modelo, foram utilizados os testes do multiplicador de Lagrange sendo todos significativos, menos o LM (multiplicador de Lagrange) Robusto *lag* que não apresentou valor significativo. O teste do multiplicador de Lagrange que apresentou os melhores resultados para o modelo foi LM Robusto *error* este, portanto, é o que melhor explica o modelo.

Tabela 2 - Modelo Spatial Error 1994

Modelo <i>Spatial Error</i>	Ano 1994	
Variáveis	Coefficiente	Probabilidade
Constante	0,08926939	0,7962018
PIB per capita	0,00022656	0,0000092
PIB ² per capita	-4,94E-08	0,0008917
PIB ³ per capita	6,46E-13	0,0134668
Consumo de Energia Per Capita	0,00085475	0,0000005
Exportações Per Capita	0,00018915	0,0333627
LAMBDA	0,5592008	0,00
R ²	0,65015	

Fonte: Elaboração do autor com base no programa GEODA.

Os coeficientes que foram significativos ao nível de significância de 1% são o PIB per capita, o PIB per capita ao quadrado, Lambda e o consumo de energia per capita. O coeficiente exportação per capita e o PIB per capita ao cubo foram significativo ao nível de significância de 5% e a constante não apresentou valor

⁹ Os testes apresentados neste parágrafo podem ser encontrados no tópico 5.12 Avaliação dos resultados da análise de regressão, no tópico 11.5 Detecção da Heterocedasticidade e no tópico 10.7 Detecção da multicolinearidade, do livro *Econometria Básica*, de GURAJATI (2006).

significativo. A variável dependente é explicada por 65% das variáveis independentes presentes no modelo, ou seja, o R^2 apresentou valor igual 0,65.

Os resultados da regressão estão de acordo com a expectativa teórica, com exceção da variável exportação per capita, e sugerem a existência de uma curva de Kuznets Ambiental no formato de U invertido no curto prazo e em uma perspectiva de longo prazo o modelo sugere uma provável existência da curva de Kuznets Ambiental no formato de N. Isso ocorre porque nos estágios iniciais o aumento da renda leva a aumentos na poluição, entretanto, a partir de certo ponto a poluição começa a cair com os aumentos na renda. Observa-se pelo modelo também que a queda da poluição não será para sempre, a partir de certo estágio novamente os níveis de poluição voltarão a se elevar.

O PIB per capita apresentou valor positivo, o que significa que esta variável impacta de forma positiva para o aumento das emissões per capita de CO_2 . As emissões de CO_2 aumentarão conforme a renda aumenta, porém somente até certo ponto. Observamos que ao duplicar está variável, ela passa a receber sinal negativo, ou seja, o PIB per capita ao quadrado passa a impactar negativamente na emissão de CO_2 per capita. Portanto, no curto ela assumirá o formato de uma curva de U invertido.

Finalmente, se estimou o PIB per capita ao cubo para verificar se os aumentos na renda continuariam indefinidamente provocando quedas na emissão de CO_2 , o resultado apresentado foi positivo indicando que novos aumentos na renda a partir de certo ponto faria novamente a emissão de CO_2 voltar a crescer. Este fato nos leva a entender que em um prazo maior a CKA assumiria um formato de N, como descrito na teoria acima.

O coeficiente das exportações per capita apresentou valor positivo, sugerindo que existe uma relação positiva entre comércio internacional e emissões de CO_2 . Quando o esperado era que esta variável apresentasse sinal negativo. Porque a expectativa é que o comércio internacional ajude nas especializações das economias, o que significaria um menor consumo de energia e recursos naturais, de acordo com Stern *et al* (1996), resultando em uma queda nas emissões de CO_2 per capita.

A variável consumo de energia também apresentou sinal positivo, significando que aumento nesta variável impacta positivamente no aumento das emissões de CO_2 . O sinal positivo assumido por esta variável já era esperado uma

vez que as fontes produtoras de energia em grande parte emitem esse gás para gerar energia. O valor positivo de 0,59 do coeficiente *lambda* é estatisticamente significativo e indica que existem variáveis que impactam a emissão de CO₂ per capita, porém não são modeladas.

3.2.2 Análise da Regressão para o Ano de 2009

Foi estimada uma regressão do CO₂ per capita (variável dependente), contra o PIB per capita, PIB per capita ao quadrado, PIB per capita ao cubo, consumo de energia per capita e exportações per capita, pelo método dos mínimos quadrados ordinários, sem considerar a relação espacial. A Tabela 3 apresenta os resultados.

Tabela 3 - Modelo Clássico 2009

Modelo Clássico	Ano 2009	
Variáveis	Coeficiente	Probabilidade
Constante	0,1192678	0,6859457
PIB per capita	0,00073069	0,00
PIB per capita ao quadrado	-1,57E-08	0,0000007
PIB per capita ao cubo	1,02E-13	0,0001194
Consumo de energia per capita	0,00016315	0,0439406
Exportações per capita	8,46E-07	0,985393
	R²	0,574026
Número de Condição de Multicolinearidade	34,095491	-
Estatística Jarque-Bera	13591,28	0,00
Teste Koenker-Basset	35,73479	0,0000011
Matriz de Pesos Espaciais	Coeficiente	Probabilidade
	MI/DF	
Teste I de Moran	0,234982	0,00
LM (error)	34,4875581	0,00
LM Robusto (error)	24,2372671	0,0000009
LM (lag)	10,6205338	0,0011184
LM Robusto (lag)	0,3702427	0,542872
LM (SARMA)	34,8578008	0,00

Fonte: Elaboração do autor com base no programa GEODA.

A variável dependente é explicada por 57,4% das variáveis independentes presentes no modelo, ou seja, o R^2 apresentou valor igual 0,574. Os coeficientes que foram significativos ao nível de significância de 1% são o PIB per capita, o PIB per capita ao quadrado, o PIB per capita ao cubo. O coeficiente consumo de energia per capita foi significativo ao nível de significância de 5%, a constante e o coeficiente exportação per capita não apresentou valor significativo.

Os coeficientes que foram significativos estão de acordo com a expectativa teórica. O consumo de energia apresentou sinal positivo, significando que esta variável impacta positivamente no aumento das emissões de CO_2 . O sinal positivo assumido por esta variável já era esperado uma vez que as fontes produtoras de energia em grande parte emitem esse gás para gerar energia. A variável exportação per capita não apresentou valor significativo na nossa análise por isso não se podem realizar inferências sobre ela, devido a grande chance de erro.

O PIB per capita apresentou valores positivos, o que significa que esta variável impacta de forma positiva para o aumento das emissões per capita de CO_2 . Observa-se que ao duplicar esta variável, ela passa a receber sinal negativo, ou seja, o PIB per capita ao quadrado passa a impactar negativamente na emissão de CO_2 per capita. Esse resultado está de acordo com a teoria da CKA e no curto ela assumirá o formato de uma curva de U invertido.

Portanto, as emissões de CO_2 aumentarão conforme a renda aumenta, porém somente até certo ponto. Depois de atingido este ponto os aumentos na renda começarão a provocar quedas na emissão de CO_2 . Finalmente, se estimou o PIB per capita ao cubo para verificar se os aumentos na renda continuariam indefinidamente provocando quedas na emissão de CO_2 , o resultado apresentado foi positivo indicando que novos aumentos na renda a partir de certo ponto faria novamente a emissão de CO_2 voltar a crescer. Este fato nos leva a entender que em um prazo maior a CKA assumiria um formato de N, como descrito na teoria acima.

Nos diagnósticos da regressão nota-se a existência de uma multicolinearidade que vai de moderada a forte. Observa-se que o teste Jarque-Bera indica a presença de não normalidade, ao passo que o teste de Koenker-Basset confirma que os resíduos da regressão são homocedásticos.¹⁰ Como o modelo

¹⁰ Os testes apresentados neste parágrafo podem ser encontrados no tópico 5.12 Avaliação dos resultados da análise de regressão, no tópico 11.5 Detecção da Heterocedasticidade e no tópico 10.7 Detecção da multicolinearidade, do livro *Econometria Básica*, de GURAJATI (2006).

clássico apresentou esses problemas utilizamos o teste do I de Moran a fim de saber qual o melhor modelo que explica as variáveis analisadas.

O teste I de Moran apresentou valor significativo, revelando a existência de autocorrelação espacial. Como o teste do I de Moran não mostra qual o tipo de correlação presente no modelo, foram utilizados os testes do multiplicador de Lagrange sendo todos significativos, menos o LM (multiplicador de Lagrange) Robusto *lag* que não apresentou valor significativo. O teste do multiplicador de Lagrange que apresentou os melhores resultados para o modelo foi LM Robusto *error* este, portanto, é o que melhor explica o modelo.

Tabela 4 - Modelo Spatial Error 2009

Modelo Spatial Error	Ano 2009	
Variáveis	Coefficiente	Probabilidade
Constante	0,2160279	0,4994495
PIB per capita	0,00067109	0,00
PIB ² per capita	-1,22E-08	0,0000134
PIB ³ per capita	7,82E-14	0,0008023
Consumo de Energia Per Capita	7,26E-05	0,3308159
Exportações Per Capita	-5,15E-06	0,8964228
LAMBDA	0,5668416	0,00
	R²	0,660413

Fonte: Elaboração do autor com base no programa GEODA.

Os coeficientes que foram significativos ao nível de significância de 1% são o PIB per capita, o PIB per capita ao quadrado, PIB per capita ao cubo e Lambda. O coeficiente exportação per capita, o coeficiente consumo de energia per capita e a constante não apresentaram valor significativo. A variável dependente é explicada por 66% das variáveis independentes presentes no modelo, ou seja, o R² apresentou valor igual 0,66.

Os resultados que são significativos da regressão estão de acordo com a expectativa teórica e sugerem a existência de uma curva de Kuznets Ambiental no formato de U invertido no curto prazo e em uma perspectiva de longo prazo a existência da curva de Kuznets Ambiental no formato de N. Isso ocorre porque nos estágios iniciais o aumento da renda leva a aumentos na poluição, entretanto, a

partir de certo ponto a poluição começa a cair com os aumentos na renda. Percebe-se pelo modelo também que a queda da poluição não será para sempre, a partir de certo estágio novamente os níveis de poluição voltarão a se elevar.

O valor positivo de 0,59 do coeficiente *lambda* e estatisticamente significativo indica que existem variáveis que impactam na emissão de CO₂ per capita, porém não são modeladas. As variáveis consumo de energia per capita e exportações per capita não apresentaram valores significativos para a nossa análise, por isso não podemos realizar inferências sobre elas, devido a grande chance de erro.

O coeficiente PIB per capita apresentou valores positivos, o que significa que está variável impacta de forma positiva para o aumento das emissões per capita de CO₂. As emissões de CO₂ aumentarão conforme a renda aumenta, porém somente até certo ponto. Observamos que ao duplicar está variável, ela passa a receber sinal negativo, ou seja, o PIB per capita ao quadrado passa a impactar negativamente na emissão de CO₂ per capita. Portanto, no curto ela assumirá o formato de uma curva de U invertido.

Por fim, se estimou o PIB per capita ao cubo para verificar se os aumentos na renda continuariam indefinidamente provocando quedas na emissão de CO₂, o resultado apresentado foi positivo indicando que novos aumentos na renda a partir de certo ponto faria novamente a emissão de CO₂ voltar a crescer. Este fato nos leva a entender que em um prazo maior a CKA assumiria um formato de N, como descrito na teoria acima.

A hipótese da existência de uma curva de Kuznets global é aceita tanto para o ano de 1994 como para o ano de 2009, devido ao fato que nestes dois anos analisados os sinais dos coeficientes se comportaram de maneira esperada. Como PIB per capita apresentou valores positivos implica que está variável impacta de forma positiva para o aumento das emissões per capita de CO₂ nos dois anos. Entendemos que as economias nos estágios iniciais, aumentos na renda levam a aumentos nas emissões de CO₂ per capita, isso ocorre de acordo com a teoria por causa da pobreza que limita o país na adoção técnicas usadas durante o processo produtivo para conter os agentes poluidores.

Ao duplicar o PIB per capita para os dois anos, ele passa a receber sinal negativo, ou seja, o PIB per capita ao quadrado passa a impactar negativamente na emissão de CO₂ per capita. Esse resultado está de acordo com a

teoria da CKA e no curto ela assumirá o formato de uma curva de U invertido. Isso ocorre porque a partir de certo com o crescimento da renda a pobreza já não é um fator tão limitante quanto nos estágios iniciais, o país agora passa a dar mais atenção ao meio ambiente e novas técnicas e leis são implementadas pela sociedade na produção de riquezas.

A teoria da CKA nos diz que em certo momento ocorrerá um novo ponto de inflexão e a curva voltará a ser ascendente. Portanto, estima-se o PIB per capita ao cubo para verificar se os aumentos na renda continuariam indefinidamente provocando quedas na emissão de CO₂, o resultado apresentado foi positivo para os dois períodos analisados indicando que novos aumentos na renda a partir de certo ponto faria novamente a emissão de CO₂ voltar a crescer. Este fato no leva a entende que em um prazo maior a curva de Kuznets ambiental assumiria um formato de N.

O coeficiente consumo de energia per capita deverá assumir valor positivo tanto para o ano de 1994 e 2009, porque teoricamente aumentos no consumo de energia devem aumentar a emissão do dióxido de carbono, uma vez que as fontes produtoras de energia em grande parte emitem esse gás para gerar energia, de acordo com Almeida e Carvalho (2010). Para o ano de 1994 esse resultado esperado é obtido, entretanto para o ano de 2009 ele é obtido somente para o modelo clássico, no modelo de erro espacial apesar do sinal estar de acordo com a teoria o valor obtido não é estatisticamente significativo.

Finalmente, para Stern *et al.*, (1996), alterações nas estruturas das economias e as modificações dos padrões internacionais de qualidade ambiental induzirão os países a se especializarem em atividades que consumam menos recursos naturais e energia, portanto, espera-se que a variável exportações per capita (β_5) assuma um valor negativo. Como se observa nos períodos analisados não se obtiveram os coeficientes com os sinais esperados para está variável. No ano de 1994 todos os períodos foram significativos a algum nível de significância, mostrando que o comércio internacional eleva as emissões de CO₂ per capita. Já no ano de 2009, os coeficientes desta variável não foram estatisticamente significativos.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A teoria da curva de Kuznets descreve a trajetória da poluição de um estado como resultado do seu desenvolvimento econômico em dado período de tempo. A CKA deverá assumir o formato de “U” invertido no curto prazo, uma vez que está prevê que nos estágios iniciais do desenvolvimento econômico o crescimento da renda provocará a degradação ambiental, mas somente até certo momento, depois os aumentos na renda fará com que tal degradação comece a diminuir.

Portanto, o objetivo foi buscar elementos que poderiam comprovar a existência de relação entre emissão de CO₂ e o crescimento da renda e também averiguar o formato da curva de Kuznets Ambiental. Os I de Moran bivariados foram significativos, indicando relação espacial entre as variáveis analisadas e as regressões indicaram que a CKA assumirá um formato de U invertido no curto prazo e de N no longo prazo.

O primeiro objetivo específico foi verificar a existência de relação espacial entre emissão de CO₂ per capita e PIB per capita através da estatística I de Moran. Como a mesma apresentou valor e foi significativa consegue-se afirmar que existe relação espacial entre essas duas variáveis.

O segundo objetivo específico consiste analisar os clusters formados e averiguar a mudança nas relações espaciais da emissão de CO₂ per capita verificando se o protocolo de Kyoto foi capaz de realizar modificações neste cenário. Na análise obteve-se a formação de clusters bivariados e univariados Alto-Alto na Europa e na África ocorreu à formação de clusters bivariados e univariados Baixo-Baixo para os anos de 1994 e 2009.

O Protocolo de Kyoto provavelmente foi um dos fatores capazes de promover modificações no cenário dos mapas principalmente onde se concentra os países presentes no anexo I que tem metas obrigatórias, no caso principalmente a Europa.

Após verificar através dos mapas e da estatística I de Moran a existência de relação espacial entre as variáveis CO₂ per capita e PIB per capita. Busca-se através da regressão averiguar o formato da curva de Kuznets ambiental de acordo com a teoria econômica e este foi o último objetivo específico alcançado.

Para comprovar a hipótese da CKA na forma de U invertido era necessário que o coeficiente PIB *per capita* seja positivo e significativo, ao passo que o coeficiente PIB per capita ao quadrado apresente sinal negativo e ser significativo. Para verificar se os aumentos de renda manterão as quedas nas emissões de CO₂ constante se estimou o PIB per capita ao cubo, caso seja significativo e apresente sinal positivo, isso implicará em evidências de que a CKA em um prazo de tempo maior possuirá um formato de N.

A hipótese da existência de uma curva de Kuznets global é aceita tanto para o ano de 1994 como para o ano de 2009, devido ao fato que nestes dois anos analisados os sinais dos coeficientes se comportaram de maneira esperada. Indicando uma provável existência da CKA no formato de U invertido no curto prazo e no longo prazo a CKA assumiria um formato de N.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, E.; CARVALHO, T. S. **A hipótese da curva de Kuznets ambiental global: uma perspectiva econométrico-espacial.** (Escrito em: 09/2010). Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0101-1612010000300004&script=sci_arttext>. Acessado em: 26/11/2013.
- ALMEIDA, E. **Curso de Econometria Espacial Aplicada.** ESALQ-USP: Piracicaba, 2004.
- ALMEIDA, E. **Econometria espacial aplicada.** Campinas, SP: Editora Alínea, 2012.
- ALMEIDA, E. S.; FERREIRA P. G. C.; PEROBELLI, F. S. **Existe convergência espacial da produtividade agrícola no Brasil?** RER, Rio de Janeiro, vol. 46, n. 01, p. 031-052, jan/mar 2008.
- ANSELIN, L. **Spatial Econometrics.** Universidade do Texas em Dallas, Escola de Ciências Sociais, 26 de abril de 1999.
- ANSELIN, L. Local Indicators of Spatial Association – LISA. **Geographical Analysis**, 27, n. 2, p. 93-115, 1995.
- ARRAES, R. A.; DINIZ, Marcelo B.; DINIZ, Márcia J. T. **Curva ambiental de Kuznets e desenvolvimento econômico sustentável.** (Escrito em: 2006). Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-20032006000300008&script=sci_arttext>. Acessado em: 25/11/2013.
- ARROW, et al. **Economic growth, carrying capacity, and the environment.** Science n.268, 520–521. 1995. Disponível em: <http://www.precaution.org/lib/06/econ_growth_and_carrying_capacity.pdf>. Acessado em: 22/11/2009.
- BANCO MUNDIAL. Disponível em: < <http://data.worldbank.org/indicator/all> >. Acessado em: 26/11/2013.
- BRASIL. MMA, Ministério do Meio Ambiente do Brasil. **Protocolo de Quioto.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/protocolo-de-quioto>. Acessado em: 13/11/2013.
- CMMAD. Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente E Desenvolvimento. **Nosso Futuro Comum.** Rio de Janeiro: FGV, 1988.
- COSTA, J. S; DENTINHO, T. P; NIJKAMP, P; **Compêndio de Economia Regional.** Cascais: Princípia, 2011.
- DE BRUYN, S. M.; VAN DEN BERGH, J. C. J. M.; OPSCHOOR, J. B. **Economic Growth and Emissions: reconsidering the empirical basis of environmental Kuznets curves.** Ecological Economics, Amsterdam, vol. 25, p. 161-175, 1998.

DINIZ, S. S.; CÂMARA, M. R. G.; MASSAMBANI, M. O.; ANHESINI, J. A. R.; FILHO, A. S., **Análise espacial da produtividade da laranja dos municípios do estado de São Paulo: 2002-2010**. In: Sociedade Brasileira de Economia Administração e Sociologia Rural. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/?op=paginas&tipo=secao&secao=7&pagina=7>>. Acessado em: 10/04/2014.

GUJARATI, D; **Econometria Básica**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

LOMBORG, B. **O Ambientalista Cético**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2002.

RATTNER, H. **Liderança para uma sociedade sustentável**. São Paulo: Nobel, 1999.

STERN, D. I; COMMON, M. S; BARBIER, E. B. **Economic Growth and Environmental Degradation: The Environmental Kuznets Curve and Sustainable Development**. World Development, vol. 24, n. 7, p. 1151-1160, 1996.

STERN, D.I; **The Environmental Kuznets Curve**. (Escrito em: 06/2003). Disponível em: <http://isecoeco.org/pdf/stern.pdf>. Acessado em: 10/11/2014.

THOMAS, J. M; CALLAN. S. J. **Economia Ambiental**. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change. **Clean Development Mechanism (CDM)**. Disponível em: http://unfccc.int/kyoto_protocol/mechanisms/clean_development_mechanism/items/2718.php. Acessado em: 08/08/ 2014 - A.

UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change. **International Emissions Trading**. Disponível em: http://unfccc.int/kyoto_protocol/mechanisms/emissions_trading/items/2731.php. Acessado em: 08/08/2014 - B.

UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change. **Joint Implementation (JI)**. Disponível em: http://unfccc.int/kyoto_protocol/mechanisms/joint_implementation/items/1674.php. Acessado em: 08/08/2014 - C.

YANDLE B; VIJAYARAGHAVAN, M; BHATTARAI M; **The Environmental Kuznets Curve: A Primer**. (Escrito em: 05/2002). Disponível em: <http://www.macalester.edu/~wests/econ231/yandleetal.pdf> . Acessado em: 05/12/2014.