

## CURVA AMBIENTAL DE KUZNETS E CAUSALIDADE DE GRANGER ENTRE QUALIDADE DO AR E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO APLICADA À REALIDADE DOS ESTADOS BRASILEIROS

Everton Anger Cavalheiro\*

(Professor Doutor na Universidade Federal de Pelotas- Rio Grande do Sul/ Brasil) -eacavalheiro@hotmail.com

Alejandro Martins Rodriguez\*\*

(Professor Doutor na Universidade Federal de Pelotas- Rio Grande do Sul/ Brasil) -aljmartins@gmail.com

Frantzso Pierre\*\*\*

(Mestrando em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Pelotas -Rio Grande do Sul/ Brasil) -  
frantzso.pierre@ymail.com

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Everton Anger Cavalheiro, Alejandro Martins Rodriguez y Frantzso Pierre (2020): "Curva ambiental de Kuznets e causalidade de granger entre qualidade do ar e desenvolvimento econômico aplicada à realidade dos estados brasileiros", Revista DELOS, Vol 13 N° 37 (diciembre 2020). En línea:

<https://www.eumed.net/es/revistas/delos/vol-13-no-37-diciembre-2020/curva-ambiental-kuznets>

**RESUMO:** O objetivo desse artigo é examinar as relações causais entre poluição do ar, medido pelo monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), partículas inaláveis (PM<sub>10</sub>) e desenvolvimento econômico (medido pelo PIB), em três estados brasileiros (São Paulo, Paraná e Espírito Santo), no período de 2003-2015, baseando-se na hipótese da curva ambiental de Kuznets (EKC). Observaram-se fluxos causais unidirecionais entre qualidade do ar (medido pelo CO, SO<sub>2</sub>) e PIB e bidirecionais entre qualidade do ar (medido pelo NO<sub>2</sub>) e PIB dos estados analisados. Conclui-se que a qualidade do ar tem impacto significativo no desenvolvimento, sugerindo a necessidade de criação de políticas econômicas e ambientais que visem um equilíbrio dinâmico tanto da qualidade do ar quanto do crescimento econômico, desenvolvendo-se uma política econômica sustentável para estas regiões.

**Palavras-chaves:** PIB, poluição do ar, causalidade de Granger.

## CURVA AMBIENTAL DE KUZNETS Y CAUSALIDAD DE GRANGER ENTRE CALIDAD DEL AIRE Y DESARROLLO ECONÓMICO APLICADA EN EL REAL CONTEXTO DE LOS ESTADOS BRASILEÑOS

**RESUMEN:** El objetivo de este artículo es examinar las relaciones causales entre la contaminación atmosférica, medidas por monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), partículas inhalables (PM<sub>10</sub>), desarrollo económico (medido por PIB), en tres estados brasileños (San Paulo, Paraná y Espírito Santo), en el período 2003-2015, basándose en

la hipótesis de la curva ambiental de Kuznets (EKC). Se observaron flujos causales unidireccionales entre la calidad del aire (medida por CO, SO<sub>2</sub>) y el PBI, y bidireccionales entre la calidad del aire (medida por NO<sub>2</sub>) y el PBI de los Estados analizados. Se concluye que la calidad del aire tiene un impacto significativo en el desarrollo, lo que sugiere la necesidad de crear políticas económicas y medioambientales encaminadas a un equilibrio dinámico tanto de la calidad del aire como del crecimiento económico, desarrollando una política económica sustentable para estas regiones.

**Palabras-clave:** PBI, contaminación del aire, causalidad de Granger.

## **KUZNETS ENVIRONMENTAL CURVE AND GRANGER CAUSALITY BETWEEN AIR QUALITY AND ECONOMIC DEVELOPMENT APPLIED TO THE REAL CONTEXT OF BRAZILIAN STATES**

**ABSTRACT:** The aim of this article is to examine the causal relationships between air pollution, measured by carbon monoxide (CO), nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>), sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>), inhalable particles (PM<sub>10</sub>), economic development (measured by GDP), in three Brazilian states (São Paulo, Paraná and Espírito Santo), in the period 2003-2015, based on the hypothesis of the Kuznets environmental curve (EKC). One-way causal flows were observed between air quality (measured by CO, SO<sub>2</sub>) and two-way between air quality (measured by NO<sub>2</sub>) and GDP of the analyzed states. It is concluded that air quality has a significant impact on development, suggesting the need for the creation of economic and environmental policies aimed to promote a dynamic balance of both air quality and economic growth, developing a sustainable economic policy for these regions.

**Keywords:** GDP, air pollution, Granger causality.

### **1. Introdução**

A qualidade do ar é uma das questões ambientais essenciais para a saúde pública, o meio ambiente e o crescimento econômico (Hao *et al.*, 2018). A hipótese da Curva Ambiental de Kuznets (EKC) data de décadas e ainda é atual devido a sua importância na formulação de políticas ambientais (Sarkodie e Strezov, 2019). Existem várias revisões sistemáticas da hipótese em que diversos autores têm demonstrado a existência de uma relação causal entre qualidade do ar e o desenvolvimento econômico (Dinda, Coondoo e Pal, 2000; Dinda, 2004; Narayan e Narayan, 2010; Shahbaz; Lean e Shabbir, 2012; Lau, Choong e Eng, 2014; Al-Mulali; Saboori e Ozturk, 2015; Dogan e Turkekul, 2016; Pablo-Romero e De Jesús, 2016; Shahbaz e Sinha, 2019; Sarkodie e Ozturk, 2020). Percebe-se uma troca entre desenvolvimento econômico e qualidade do meio ambiente, havendo um fluxo causal (bidirecional) entre as variáveis.

A degradação ambiental e o declínio da qualidade ambiental tornaram-se uma preocupação global e atraíram atenção significativa de toda a sociedade, uma vez que as emissões antrópicas de gases de efeito estufa aumentaram significativamente entre 1970 e 2010 (Sarkodie e Strezov, 2019). Os gases com efeito de estufa, em 2010, cresceram 330% na Ásia, 70% no Oriente Médio e África,

57% na América Latina, 22% nos países de Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e 4% nas economias em transição (IPCC, 2014).

Ademais, do aquecimento global de 1,5° apontado pela *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), tem sido demonstrado que atividades humanas causaram o aquecimento da terra em cerca de 1,0°C, em comparação com o período pré-industrial. Tal variação de temperatura tem gerado impactos ambientais ao redor do mundo, como mudanças climáticas e aumento do nível dos mares em razão do derretimento das calotas polares (Destek *et al.*, 2020).

Chen *et al.* (2017) destacam que desde a reforma e a abertura, a economia chinesa cresceu a uma velocidade notável. Entretanto, a poluição ambiental também se tornou cada vez mais significativa nesse país. Percebe-se que nos últimos anos, uma possível contradição entre desenvolvimento econômico e meio ambiente pode ter sido intensificada, ameaçando seriamente o desenvolvimento sustentável da China. Por conseguinte, entende-se que a queima de biomassa (QB): em Inglês, *biomassburning (BB)* é uma fonte significativa de poluição do ar, com impactos globais, regionais e locais na qualidade do ar, na saúde pública, e no clima.

Segundo Destek *et al.* (2020), as emissões de CO<sub>2</sub> são responsáveis por 75% das emissões dos gases de efeito estufa, as quais têm sido uma das fontes mais significativas de aquecimento global e mudanças climáticas (Atasoy, 2017). Apesar dos diversos esforços tais como o Protocolo de Kyoto, a queima de combustíveis fósseis com o objetivo de alcançar altos níveis de crescimento econômico tem aumentado as emissões de CO<sub>2</sub> (Churchill *et al.* 2018).

Portanto, o impacto do crescimento econômico sobre o meio ambiente tornou-se uma das questões mais debatidas para ambientalistas e economistas. Sarkodie e Strezov (2019) comentam que vários fatores afetam as emissões de gases de efeito estufa que variam desde a produção per capita, passando por crescimento do consumo, crescimento populacional, obsolescência tecnológica e inovação, assim como comportamento de consumo dos indivíduos.

As emissões de dióxido de carbono relacionadas a combustíveis fósseis para geração de calor e eletricidade aumentaram consistentemente nas últimas quatro décadas (Sarkodie e Strezov, 2019). A busca para garantir a disponibilidade e acessibilidade do fornecimento de energia a preços acessíveis para atender à crescente demanda de energia conjuntamente com um desenvolvimento econômico sustentado levou à dependência excessiva de fontes de energia de combustíveis fósseis (Sarkodie e Owusu, 2016).

Nota-se, portanto, uma íntima relação entre desenvolvimento econômico e qualidade do meio ambiente, como postula a Hipótese da Curva Ambiental de Kuznets. Esta hipótese postula que os estágios iniciais do desenvolvimento econômicos e caracterizam por um alto uso de recursos que inevitavelmente reduzem a bio-capacidade e aumentam a pegada ecológica, levando assim a um rápido crescimento dos níveis de poluição (Panayotou, 1993; Sarkodie e Strezov, 2018).

Existe um enorme escopo de literatura internacional que se utiliza da hipótese da Curva Ambiental de Kuznets. No entanto, poucos estudos são direcionados à realidade brasileira, em especial destaque à utilização de dados em painéis com enfoque aos estados brasileiros. Neste

sentido, este artigo busca responder a seguinte pergunta: há fluxo causal entre a qualidade do ar dos estados brasileiros e o PIB (Produto Interno Bruto) desses estados? Investiga-se, portanto, como o crescimento econômico impacta a qualidade ambiental e também como a qualidade ambiental afeta o crescimento econômico na base da hipótese teórica da Curva de Kuznets (EKC).

## **2. Estrutura conceitual da hipótese EKC**

A Hipótese da Curva Ambiental de Kuznets (EKC) deriva do trabalho inicial de Simon Kuznets (1955) que revelaram uma relação em forma de U invertido entre desigualdade de renda e produtividade. A hipótese da curva atraiu muita atenção significativa nos anos 90 após o trabalho seminal de Grossman e Krueger (1991), o qual revelou que a deterioração ambiental e a renda per capita seguem na forma de U invertido. Estudando a ligação entre qualidade do ar e desenvolvimento econômico, Grossman e Krueger (1991) encontraram uma relação em forma de U invertido entre poluentes do ar (dióxido de enxofre e fumaça) e renda per capita, confirmando, portanto, a validade da Hipótese da Curva Ambiental de Kuznets, cunhado por Panayotou (1993). Seu estudo revelou um aumento nas concentrações de poluentes do ar, a medida que o nível de renda aumenta, e concentrações de poluentes do ar descendentes a partir de níveis mais altos de renda.

O autor expôs a analogia em forma de U invertido, examinando o nexos entre degradação ambiental e renda per capita. Panayotou (1993) revelou ainda que distorções políticas, como subsídios ao uso intensivo de carbono, protecionismo industrial, falhas de mercado e subestimação de recursos naturais, tendem a influenciar a inclinação da curva em forma de U invertido.

A teoria da Curva Ambiental de Kuznets (EKC) tem sido utilizada para analisar a relação entre desenvolvimento econômico e níveis de poluição do ar. No estágio inicial do desenvolvimento econômico, o nível de poluição do ar é geralmente baixo. No entanto, quando o desenvolvimento econômico atinge um estágio intermediário, os níveis de concentração da poluição do ar tendem a aumentar consideravelmente, ou até a aumentar acentuadamente se as medidas de melhoria levadas a cabo não forem eficazes (Chen e Kan, 2008). Porém, a qualidade do ar atinge um ponto de inflexão em um estágio mais alto de desenvolvimento econômico devido à maior conscientização ambiental e às medidas de controle tomadas para proteger o meio ambiente (Chen e Kan, 2008).

Nessa perspectiva, pode-se entender que a atividade econômica e o aumento populacional são realidades para uma possível mudança climática. Em outras palavras, o desenvolvimento econômico, a urbanização, o consumo de energia, o transporte e o rápido crescimento populacional, são as principais forças motrizes da poluição do ar nas grandes cidades, especialmente nas megacidades (Hao et al. 2018).

Pode-se dizer que esses são fatores que impactam na geração da poluição do ar, através de determinados poluentes, tais como: material particulado (MP), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Esses são os mais frequentes atualmente (HAO et al. 2018). Seus efeitos em longo prazo na atmosfera impactam em algumas formas de doenças, como infecções respiratórias, disfunções cardiovasculares e câncer. Segundo Ghorani-Azam et al. (2016), esses poluentes causam milhões de mortes no mundo todo a

cada ano. Pope III e Dockery (2006) e Steinle et al. (2015) apontam que as altas concentrações de material particulado (MP) são particularmente prejudiciais para o ser humano sistemas cardiovascular e respiratório, e a poluição por MP também é uma causa significativa de morte prematura.

Pal e Mitra (2017) comentam que as emissões mundiais de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) chamaram a atenção dos formuladores de políticas públicas, uma vez que o CO<sub>2</sub> é responsável por 76,7% das emissões de gases de efeito estufa. Para os autores, há uma ligação entre as emissões de CO<sub>2</sub> e o consumo de energia. Os pesquisadores mostram que um maior uso de energia pode ser associado ao aumento do crescimento econômico.

Para desvendar a ligação entre as emissões de CO<sub>2</sub>, o uso de energia e o crescimento econômico, os autores mencionam que: se o crescimento econômico em níveis mais altos degrada a qualidade ambiental através do aumento do consumo de combustível fóssil, é fundamental para os formuladores de políticas públicas elaborarem diretrizes que assegurem um equilíbrio entre o crescimento econômico e a qualidade ambiental. Apesar disto, os autores destacam que durante o estágio inicial da industrialização o nível de poluição aumenta rapidamente, pois a preferência por políticas ambientais livres de poluição fica em segundo plano. Nesse estágio os formuladores de políticas estão mais preocupados na criação de oportunidades de emprego e na melhoria da renda por meio de maior produção industrial, mesmo ao custo da deterioração da qualidade ambiental.

De acordo com Hao et al (2018) há uma troca entre crescimento econômico e meio ambiente. Para eles, o crescimento econômico pressiona inevitavelmente o meio ambiente, devido ao aumento da população, da industrialização, e de atividades econômicas dinâmicas. Pelo contrário, quando houver a deterioração ambiental, pode vir a acontecer uma limitação ou até redução das atividades econômicas. Entende-se segundo Hao et al. (2018) que a poluição pode afetar o desenvolvimento econômico direta e indiretamente, por suas influências na saúde pública e na produtividade.

Com a variação entre qualidade ambiental, saúde e desenvolvimento econômico, Hao et al. (2018) utilizaram a teoria de Curva Ambiental de Kuznets (EKC) e mostraram que a poluição em um primeiro momento pode aumentar para um pico e depois diminuir com o crescimento. Pode-se entender que num primeiro momento, em qualquer país no qual o crescimento está apenas começando, tal crescimento provoca uma poluição ambiental significativa que pode tornar vulnerável a saúde da população. Porém, depois que o crescimento chegar num certo nível haveria uma conciliação entre desenvolvimento econômico e qualidade ambiental pela consciência tomada para as pessoas sobre a proteção do meio ambiente. Os autores relatam ainda que: à medida que a economia cresce e entra no estágio avançado da industrialização, a renda aumenta e o nível de poluição diminui. Na Tabela 1 apresentam-se algumas evidências teóricas e empíricas da relação entre qualidade do ar e desenvolvimento econômico.

**Tabela 1:** Evidências teóricas e empíricas da relação entre qualidade do ar e desenvolvimento econômico.

<b>Autores</b>	<b>Período</b>	<b>Países</b>	<b>Metodologia</b>	<b>Resultados</b>
Suri e Chapman (1998)	1971-1990	33 países	Panel GLS	Relação na forma de U invertido
Dinda et al. (2000)	1979-1990	33 países	Panel OLS	Relação na forma de U invertido
Stern e Common (2001)	1960-1990	Países da OECD	Panel OLS	Relação na forma de U invertido
Ang (2007)	1960-2000	França	Cointegração de Johansen e VECM	Relação na forma de U invertido
Jalil e Mahmud (2009)	1975-2005	China	ARDL e Granger causality	Relação na forma de U invertido
Akbostancı et al. (2009)	1992-2001	58 províncias Turcas	Pooled EGLS	Relação na forma de N
Iwata et al. (2010)	1960-2003	França	ARDL	Relação na forma de U invertido
He e Richard (2010)	1948-2004	Canadá	Non-linear parametric modeling method.	Relacionamento crescente
Brajer et al. (2011)	1990-2006	139 cidades Chinesas	Panel GLS	Relação na forma de U invertido
Pao et al. (2011)	1990-2007	Rússia	Cointegração de Johansen, OLS, e VECM.	Relacionamento decrescente
Nasir e Rehman (2011)	1972-2008	Paquistão	VECM	Relação na forma de U invertido
Muhammad et al. (2011)	1971-2009	Paquistão	ARDL	Relação na forma de U invertido
Fosten et al. (2012)	1830-2003	Reino Unido	Non-linear threshold cointegration e OLS	Relação na forma de N
Esteve e Tamarit (2012)	1857-2007	Espanha	Técnicas de cointegraçãoThreshold	Relação na forma de U invertido
Saboori et al. (2012a)	1980-2009	Malásia	ARDL e VECM	Relação na forma de U invertido
Saboori et al. (2012b)	1971-2007	Indonésia	ARDL	Relação na forma de U
Shahbaz et al. (2012)	1971-2009	Paquistão	ARDL e Granger.	Relação na forma de U invertido
Dehnavi e Haghnejad (2012)	1971-2008	8 países	Pedroni, FMOLS, e VECM.	Relação na forma de N
Saboori e Sulaiman (2013)	1980-2009	Malásia	ARDL e VECM.	Relação na forma de U invertido
Shahbaz et al. (2013a)	1980-2010	Romênia	ARDL	Relação na forma de U invertido
Shahbaz et al. (2013b)	1970-2010	Turquia	ARDL e VECM.	Relação na forma de U invertido
Tiwari et al. (2013)	1966-2011	Índia	ARDL e VECM.	Relação na forma de U invertido

		Oriente Médio e Norte da		
Farhani et al. (2013)	1980-2009	África	Pedroni, FMOLS, DOLS, e VECM.	Relação na forma de U invertido
Ozcan (2013)	1990-2008	Meio Oeste	Pedroni, FMOLS, e VECM.	Relação na forma de U
Chow e Li (2014)	1992-2004	132 países	T test Invertido	Relação na forma de U invertido
Cho et al. (2014)	1971-2000	OECD	Pedroni e FMOLS.	Relação na forma de U invertido
Shahbaz et al. (2014a)	1971-2010	Tunísia	ARDL e VECM.	Relação na forma de U invertido
			Cointegração de Johansen, FMOLS, e	
Yavuz (2014)	1960-2007	Turquia	OLS.	Relação na forma de U invertido
Shahbaz et al. (2014b)	1975-2011	Emirados Árabes Unidos	ARDL e VECM.	Relação na forma de U invertido
		Oriente Médio e Norte da		
		África		
Farhani et al. (2014a)	1990-2010	África	Pedroni, FMOLS, DOLS, e VECM.	Relação na forma de U invertido
Farhani et al. (2014b)	1971-2008	Tunísia	ARDL e VECM.	Relação na forma de U invertido
Bölük e Mert (2015)	1961-2010	Turquia	ARDL	Relação na forma de U invertido
Al-Mulali et al. (2015)	1981-2011	Vietnam	ARDL	Relacionamento crescente
Jebbie Youssef (2015)	1980-2009	Tunísia	ARDL e VECM.	Relação na forma de U
Farhani e Ozturk (2015)	1971-2012	Tunísia	ARDL e VECM.	Relacionamento crescente
Kasman e Duman (2015)	1992-2010	Países da União Européia	Pedroni, Kao, FMOLS, e VECM.	Relação na forma de U invertido
Ozturk e Al-Mulali et al. (2015)	1996-2012	Camboja	GMM e TSLS.	Relação na forma de U
Shahbaz et al. (2015)	1971-2008	Portugal	ARDL e VECM.	Relação na forma de U invertido
Begum et al. (2015)	1970-2009	Malásia	ARDL, DOLS, e SLM U.	Relação na forma de U
Balaguer e Cantavella (2016)	1874-2011	Espanha	ARDL	Relação na forma de U invertido
Javid e Sharif (2016)	1972-2013	Paquistão	ARDL e VECM.	Relação na forma de U invertido
Rafindadi (2016)	1961-2012	Japão	ARDL	Relação na forma de U invertido
Al-Mulali et al. (2016)	1980-2012	Quênia	ARDL	Relação na forma de U invertido
Al-Mulali e Ozturk (2016)	1990-2012	27 economias avançadas	Kao, FMOLS, e VECM.	Relação na forma de U invertido

Dogan e Turkekul (2016)	1960-2010	Estados Unidos da América	ARDL e VECM.	Relação na forma de U
Li et al. (2016)	1996-2012	28 províncias Chinesas	GMM e ARDL.	Relação na forma de U invertido
Atasoy (2017)	1960-2010	50 estados americanos	AMG e CCEMG.	Relação na forma de U invertido
Aslan et al. (2018)	1966-2013	Estados Unidos da América	Bootstraprollingwindow	Relação na forma de U invertido
Ahmad et al. (2017)	1992-2011	Croácia	ARDL e VECM.	Relação na forma de U invertido
Solarin et al. (2017)	1965-2013	Índia e China	ARDL e VECM.	Relação na forma de U invertido
Shahbaz et al. (2017a, 2017b)	1960-2016	Estados Unidos da América	ARDL e VECM.	Relação na forma de U invertido no modelo quadrático e na forma de N no modelo cúbico
Destek et al. (2018)	1980-2013	15 países da União Européia	MG-FMOLS, MG-DOLS, e DCCE-MG.	Relação na forma de U
Balaguer e Cantavella (2018)	1950-2014	Austrália	ARDL	Relação na forma de U invertido
Churchill et al. (2018)	1870-2014	OECD	AMG e CCE	Relação na forma de U invertido
Shahbaz et al. (2018)	1992-2016	BRICS	AMG e CCE	Relação na forma de N
Pata (2018)	1971-2014	Turquia	ARDL	Relação na forma de U invertido
Raza e Shah (2018)	1991-2016	Países do G7	FMOLS e DOLS	Relação na forma de U invertido
Khan e Ullah (2019)	1975-2014	Paquistão	ARDL	Relação na forma de U invertido
Destek (2019)	1995-2015	12 Países da Europa	AMG	Relação na forma de U invertido
Bulut (2019)	2000-2018	Estados Unidos da América	DOLS	Relação na forma de U invertido
Shahbaz et al. (2019)	1974-2016	Vietnam	ARDL e VECM	Relação na forma de N
Destek e Sarkodie (2019)	1977-2013	11 países	AMG	Relação na forma de U invertido
Wang (2019)	1992-2013	BRICS	GMM	Relação na forma de N
Shahbaz et al. (2019)	1980-2014	Países do G7	GMM	Relação na forma de U invertido
Destek e Sinha (2020)	1980-2014	OECD	CCE	Relação na forma de U

**Fonte:** Adaptado de Destek et al. (2020)



Observa-se na Tabela 1 uma extensa relação de estudos que versam sobre a Curva Ambiental de Kuznets (EKC) ao longo de 1998-2020. A maioria dos estudos investiga a Hipótese do EKC usando a forma quadrática e mostra uma relação em forma de U invertido entre desenvolvimento econômico e descarga de carbono. Os estudos globais incluem Suri e Chapman (1998), Dinda et al. (2000) e Stern e Common (2001), Chow e Li (2014), Cho et al. (2014). Outros autores avaliam localmente esta relação, tais como: Ang (2007) para França, Jalil e Mahmud (2009) para a China, Iwata et al. (2010) para França, Nasir e Rehman (2011), e Shahbaz et al. (2012) para o Paquistão, Esteve e Tamarit (2012) para a Espanha, Saboori et al. (2012a), e Saboori e Sulaiman (2013) para a Malásia, Shahbaz et al. (2013a) para a Romênia, Shahbaz et al. (2013b) para a Turquia, Tiwari et al. (2013) para a Índia, Farhani et al. (2013) para os países do Oriente Médio e Norte da África.

Há ainda estudos com amostras locais, como: Shahbaz et al. (2014a) para a Tunísia, Yavuz (2014) para a Turquia, Shahbaz et al. (2014b) para os Emirados Árabes Unidos, Farhani et al. (2014a) para os países do Oriente Médio e Norte da África., Farhani et al. (2014b) para a Tunísia, Bölük e Mert (2015) para a Turquia, Kasman e Duman (2015) para os países da União Européia, Shahbaz et al. (2015) para Portugal, Balaguer e Cantavella (2016) para Espanha, Javid e Sharif (2016) para o Paquistão, Rafindadi (2016) para o Japão, Al-Mulali et al. (2016) para o Quênia, Alabama Mulali e Ozturk (2016) para 27 economias avançadas, Li et al. (2016) para 28 províncias chinesas, Atasoy (2017) para 50 Estados dos Estados Unidos da América (EUA), Ahmad et al. (2017) para a Croácia, Solarin et al.(2017) para Índia e China, Destek et al. (2018) para 15 países da União Européia, Balaguer e Cantavella (2018) para a Austrália, Pata(2018) para a Turquia, Raza e Shah (2018) para os países do G7, Khan e Ullah (2018) para o Paquistão, Destek (2019) para 12 Países da Europa, Shahbaz et al. (2019) para os países do G7, Bulut (2019) para os EUA, e Destek e Sarkodie (2019) para os 11 países recém-industrializados.

Contudo, a evidência de relação em forma de U entre desenvolvimento econômico e gases de efeito estufa são relatados por: Wang et al. (2011) para 28 províncias chinesas, Saboori et al. (2012b) para a Indonésia, Ozcan (2013) para países do Oriente Médio, Begum et al. (2015) para a Malásia, Ozturk e Al-Mulali et al. (2015) para o Camboja, Jebli e Youssef (2015) para a Tunísia, Dogan e Turkekul (2016) para os EUA, e Destek e Sinha (2020) para os países da OCDE. Em contraste, Pao et al. (2011) utilizaram o modelo quadrático e encontraram uma relação decrescente entre renda e poluição do meio ambiente para a Rússia. Al-Mulali et al. (2015) e Farhani e Ozturk (2015) encontraram uma relação crescente no Vietnã e na Tunísia, respectivamente.

Alguns estudos utilizaram os modelos cúbicos para testar a Hipótese do EKC. Por exemplo, Brajer et al. (2011) utilizaram a forma cúbica do modelo de estimação para analisar a hipótese EKC em 139 cidades chinesas no período 1990-2006, e confirmaram a validade da hipótese. Da mesma forma, Fosten et al.(2012) examinaram a conotação entre desenvolvimento econômico e descarga de CO<sub>2</sub> no período de 1830 a 2003 no Reino Unido, utilizando uma forma cúbica do modelo EKC. Seus resultados, baseados no OLS, mostraram que persiste uma forma de N entre desenvolvimento

econômico e descarga de dióxido de carbono. Na próxima seção são apresentados os procedimentos metodológicos da pesquisa.

### 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A presente pesquisa caracteriza-se como quantitativa, explicativa e causal. Para que a análise, e ajuste do modelo econométrico sejam realizados corretamente, Gujarati (2009) ressalta a importância da realização de etapas pré-definidas. Para responder o problema de pesquisa, inicialmente, realizou-se o teste de raiz unitária, com o objetivo de verificar a estacionariedade das séries. Após realizou-se o teste cointegração de Johansen, e finalmente realizou-se o teste de Causalidade de Granger. O teste de raiz unitária busca verificar a estacionariedade de cada série. Gujarati (2009) comenta que um problema de raiz unitária é observado quando se tem uma série temporal não estacionária. Segundo Gujarati (2009) e Tsay (2005), para se ter certeza se a série é ou não estacionária, aplica-se o teste de raiz unitária Dickey-Fuller Aumentado (ADF), no qual são realizadas três diferentes estimativas de testes de hipóteses nulas, observadas na Tabela 2.

**Tabela 2** : Equações das estimativas DF, sob as três hipóteses existentes.

Nome do teste	Equação Dickey-Fuller
Passeio aleatório	$Y_{it} = \delta Y_{it-1} + u_{it} \quad (1)$
Passeio aleatório com deslocamento.	$Y_{it} = \beta_1 + \delta Y_{it-1} + u_{it} \quad (2)$
Passeio aleatório com deslocamento em torno de uma tendência determinística.	$Y_{it} = \beta_1 + \beta_2 t + \delta Y_{it-1} + u_{it} \quad (3)$

Fonte: Cavalheiro et al. (2019)

Segundo Gujarati (2009), os testes de cointegração, assim como os de raiz unitária, servem para verificar se os resíduos gerados pela regressão das séries são estacionários ou não. Com o intuito de evitar uma regressão espúria, a cointegração é utilizada como um teste prévio para a verificação do relacionamento de curto e longo prazo entre as variáveis econômicas. Além dos testes de cointegração, da Silveira-Bueno (2008) ressalta a necessidade de se observar a causalidade existente entre as variáveis, com o intuito de se descobrir a causa e a direção da influência.

Para facilitar o entendimento de como funciona o teste de causalidade de Granger, se observa que o teste pressupõe que as informações relevantes para a predição das variáveis  $x$  e  $y$  estão contidas, unicamente, nas séries de dados temporais das mesmas (Cavalheiro et al., 2019). Isso é realizado através da estimativa do par de regressão a seguir, em que os resíduos não correlacionados são representados por  $u_{it}$ :

$$x_{i,t} = \sum a_j y_{i,t-i} + \sum b_i x_{i,t-i} + u_{1i,t} \quad (4)$$

$$y_{i,t} = \sum c_j y_{i,t-i} + \sum d_j x_{i,t-i} + u_{2i,t} \quad (5)$$

Através da equação (4) observa-se que x atual esteja relacionado a seus próprios valores passados, assim como os valores de y. Na equação (5) aplica-se a lógica similar para a variável y. Dessa forma, Cavalcanti (2010) expõe quatro casos distintos que podem ser observados como resultado deste teste: (i) causalidade unidirecional de y para x; (ii) causalidade unidirecional de x para y; (iii) causalidade bidirecional; e (iv) ausência de causalidade em qualquer direção. Dessa forma, Bueno (2008), Cavalcanti (2010) e Gujarati (2009), convergem na ideia de que mudanças em x precedem mudanças em y, ao longo do tempo, se a variável x Granger-cause a variável y.

**Tabela 3:** média anual (período de 2003 a 2015) do Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>), Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>) e Partículas Inaláveis (PM<sub>10</sub>) das cidades de São Paulo, do Estado de São Paulo, Curitiba, do estado do Paraná e Vitória, do estado do Espírito Santo

LLo		03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	
cal	Var														
	SSã o Paul o	PM <sub>10</sub>	281	261	151	251	195	157	195	314	311	306	263	249	261
		SO <sub>2</sub>	170	97	35	87	96	39	24	120	76	138	209	83	86
		NO <sub>2</sub>	439	357	351	234	277	328	295	328	239	356	296	283	317
		CO		1058		1072		950		1268	1268	2767	1756	2224	936
CCu ritiba	PM <sub>10</sub>	187	173	160	157	223	141	187	173	152	126	119	174	121	
	SO <sub>2</sub>	62	48	42	67	50	24	33	22	31	33	19	16	18	
	NO <sub>2</sub>	391	291	318	354	332	312	500	350	286	301	284	239	256	
	CO		1686	1194	1065	1288	1241	960						679	
	CO	1	3	5	0	1	1	9835	8196	9953	8196	9484	7611	1	
VVit ória	PM <sub>10</sub>	172	183	172	252	155	178	132	136	286	110	140	105	127	
	SO <sub>2</sub>	42	29	58	85	289	98	79	59	68	99	69	40	51	
	NO <sub>2</sub>	197	286	108	459	391	245	219	253	62	103	240	236	106	
	CO		1376	1260			578	1445		1098	1619		1007	585	
	CO	3	7	6130	6593	7865	3	7	5436	8	2	5386	0	4	

Legenda: CO Monóxido de Carbono; PM<sub>10</sub> Partículas Inaláveis; SO<sub>2</sub> Dióxido de Enxofre; NO<sub>2</sub> Dióxido de Nitrogênio. Fonte: Elaboração Própria

### 3.1. Variáveis utilizadas na pesquisa

Neste trabalho utilizou-se Variação Percentual da Média Anual de Monóxido de Carbono (CO), Variação Percentual da Média Anual de Partículas Inaláveis (PM<sub>10</sub>), Variação Percentual da Média Anual de Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>), Variação Percentual da Média Anual de Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>), e Variação Percentual do PIB dos estados de São Paulo, Paraná e Espírito Santo,

no período de 2003 a 2015 (em bases anuais). As escolhas dos estados e do período de análise deram-se em razão da limitação da disponibilidade dos dados. Os dados utilizados nesta pesquisa foram retirados do sítio do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020).

No que tange ao desenvolvimento econômico, este foi medido pela variação percentual do Produto Interno Bruto (PIB) dos estados analisados, disponível no sítio da Companhia de Planejamento do Distrito Federal (CODEPLAN, 2019). Na próxima seção são apresentados os resultados da pesquisa.

#### 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta pesquisa buscou-se analisar o impacto da qualidade do ar (medido pelo Monóxido de Carbono, Dióxido de Nitrogênio, Dióxido de Enxofre e Partículas Inaláveis) das capitais de três estados brasileiros (São Paulo, do Estado de São Paulo, Curitiba, do estado do Paraná e Vitória, do estado do Espírito Santo). Na Tabela 3 são apresentados a média anual (período de 2003 a 2015) dos indicadores de qualidade do ar.

**Tabela 4:** Teste de raiz unitária para as variáveis em nível (Lag 0) e em primeira diferença (Lag 1) das variáveis: Variação Percentual da Média Anual de Monóxido de Carbono (CO), Variação Percentual da Média Anual de Partículas Inaláveis (PM<sub>10</sub>), Variação Percentual da Média Anual de Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>) e Variação Percentual da Média Anual de Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>) e Variação Percentual do PIB dos estados de São Paulo, Paraná e Espírito Santo no período de 2003 a 2015 (em bases anuais), aplicado ao modelo determinístico sem tendência e sem intercepto, com intercepto e com intercepto e com tendência

Variável	Lag	Com intercepto e tendência	Com intercepto	Sem intercepto e sem tendência
Δ% da Média Anual de Monóxido de Carbono (CO)	0	18,088 ***	13,305 **	21,191 ***
	1	21,128 ***	27,910 ***	43,247 ***
Δ% da Média Anual de Partículas Inaláveis (PM <sub>10</sub> )	0	19,794 ***	17,531 ***	32,368 ***
	1	16,928 ***	25,461 ***	44,272 ***
Δ% da Média Anual de Dióxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> )	0	11,506 *	17,210 ***	28,725 ***
	1	14,427 **	22,249 ***	48,091 ***
Δ% da Média Anual de Dióxido de Nitrogênio (NO <sub>2</sub> )	0	13,410 **	18,999 ***	34,030 ***
	1	16,467 **	25,610 ***	44,298 ***
	0	18,544 *	13,213 *	12,370 **
Δ% do PIB dos estados	1	31,500 ***	32,283 ***	48,996 ***

Legenda: \* significância de 10%; \*\* significância de 5%; \*\*\* significância de 1%; Δ% variação percentual; PIB Produto Interno Bruto; CO Monóxido de Carbono; PM<sub>10</sub> Partículas Inaláveis; SO<sub>2</sub> Dióxido de Enxofre; NO<sub>2</sub> Dióxido de Nitrogênio. Fonte: Elaboração Própria.

Observa-se na Tabela 3 que a principal e mais populosa cidade brasileira (São Paulo), apresentou no período analisado (2003-2015) aumento significativo nos indicadores de poluição do ar, medido pelo Monóxido de Carbono, Dióxido de Nitrogênio, Dióxido de Enxofre e Partículas

Inaláveis, denotando maior poluição do ar quando comparado com as outras duas regiões (Curitiba, capital do estado do Paraná e Vitória, capital do estado do Espírito Santo).

Por outra via, a cidade de Curitiba apresentou redução significativa nos indicadores, no mesmo período, denotando melhoria significativa da qualidade do ar e da qualidade de vida da população. Esta redução expressiva nos indicadores de poluição ambiental é explicado por Escuciatto et al. (2016). Os autores realizaram um levantamento do histórico das concentrações dos poluentes do ar no período de 2003 a 2014, e do histórico da frota de veículos daquela cidade. Verificaram um aumento de 65% no número de veículos que não resultou no aumento da concentração dos poluentes. As concentrações de poluentes, por outro lado, apresentaram queda ao longo do período avaliado. Os autores concluíram que a renovação da frota proporcionou uma melhoria na qualidade do ar em Curitiba.

Após esta apresentação buscou-se identificar as relações de causa e efeito entre qualidade do ar e desenvolvimento econômico, medido pelo PIB. Gujarati (2009) explica a importância da estacionariedade para a realização do teste de causalidade de Granger. Para verificar o comportamento das séries temporais, procedeu-se para a aplicação de testes estatísticos com alto poder de significância. Foram realizados os testes de raiz unitária, a partir dos quais verificou-se a estacionariedade dos dados entre as variáveis analisadas, conforme apresentado na Tabela 4.

Aiube (2013) explica que a principal característica de uma série estacionária é sua distribuição invariante com o passar do tempo. Dessa forma, ele aponta que a estacionariedade pode ser estrita, quando a distribuição conjunta de  $y_t$  é idêntica à de  $y_{t+1}$ , para todo  $t$ . Ou seja, é uma definição rigorosa, pois representa o que seria ideal para a modelagem.

O segundo conceito, com relação a estacionariedade de uma série temporal é uma definição menos rigorosa, chamada estacionariedade de segunda ordem ou estacionariedade fraca (AIUBE, 2013). Esse processo é detectado se a média e a variância de  $y_t$  são idênticas para qualquer  $t$  e a covariância é função apenas da defasagem. Ou seja,  $E(y_t) = \mu$ , constante e  $Cov(y_t, y_{t-k}) = \gamma_k$ , como função apenas de  $k$ . Neste trabalho realizou-se o teste de estacionariedade fraca, em que se utilizou o teste ADF.

A partir dos resultados obtidos nos testes de raiz unitária, demonstrados na Tabela 4, observa-se rejeição da hipótese nula de não estacionariedade em nível (lag 0 e lag 1), aplicado a todas as variáveis. Ou seja, não foi observado a presença de raiz unitária, em nenhuma das modelagens utilizadas, com intercepto, tendência e intercepto ou sem tendência e sem intercepto.

**Tabela 5:** Teste de Cointegração de Johansen para o modelo determinístico sem tendência e sem intercepto (None), com intercepto (Const) e com intercepto e com tendência (Trend) aplicado para as variáveis Variação Percentual da Média Anual de Monóxido de Carbono (CO), Variação Percentual da Média Anual de Partículas Inaláveis (PM<sub>10</sub>), Variação Percentual da Média Anual de Dióxido de

Enxofre (SO<sub>2</sub>) e Variação Percentual da Média Anual de Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>) associadas à Variação Percentual do PIB dos estados de São Paulo, Paraná e Espírito Santo para o período de 2003 a 2015 (em bases anuais).

	<b>Δ% da Média Anual Monóxido de Carbono (CO)</b>			<b>Δ% da Média Anual Partículas Inaláveis (PM<sub>10</sub>)</b>			<b>Δ% da Média Anual Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>)</b>			<b>Δ% da Média Anual Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>)</b>		
H0	Trend	Const	None	Trend	Const	None	Trend	Const	None	Trend	Const	None
	-	-	-	2,728	-	-	3,116	7,358	-	-	-	-
r≤5	9,807	63,455	42,888		0,199	3,658			1,334	31,347	23,864	5,989
	***	***	***			***			*	***	***	**
	-	-2,697	-1,669	2,318	1,481	-	2,407	1,648	0,171	-6,616	-3,411	-
r≤4	2,696					0,200						2,461
	***	***	**							***	***	**
	0,438	-0,649	0,168	1,947	2,430	0,750	1,603	1,497	0,292	-2,490	-0,649	-
r≤3												2,781
										***		**
	-	-1,077	-1,219	1,412	2,567	0,892	0,933	2,090	0,748	-0,838	-1,025	-
r≤2	0,568											1,864
												**
	-	-3,025	-2,098	-	-	-	-	-	-	-1,200	-2,148	-
r≤1	1,200			1,802	1,067	0,354	1,517	0,596	0,562			3,381
		***	**	*			*				**	***
	-	-8,779	-8,637	-	-	-	-	-	-	-5,540	-6,125	-
r≤0	8,519			4,828	3,362	2,006	3,822	2,428	1,841			7,125
	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***

Legenda: \* significância de 10%; \*\* significância de 5%; \*\*\* significância de 1%; Δ% variação percentual; PIB Produto Interno Bruto; CO Monóxido de Carbono; PM<sub>10</sub> Partículas Inaláveis; SO<sub>2</sub> Dióxido de Enxofre; NO<sub>2</sub> Dióxido de Nitrogênio; None: sem tendência e sem intercepto; Const: com intercepto; Trend: com intercepto e com tendência. Fonte: Elaboração Própria

Após confirmado que todas as séries temporais analisadas são estacionárias, procedeu-se a realizar o teste de cointegração de Johansen para verificar se há relação de longo prazo entre o grupo de dados. Além de ser uma alternativa para determinar as relações de cointegração, quando há dois ou mais vetores cointegrados este método assume que todas as variáveis são endógenas, ou seja, explicadas através do modelo. Dessa forma, são observados os resultados através da Tabela 5, a seguir.

Confirma-se, a partir da Tabela 5, a rejeição da hipótese nula, de que o posto da matriz de cointegração é  $r = 0$ , com 1% de significância aplicado aos modelos determinísticos de intercepto, intercepto e tendência e sem intercepto e sem tendência para as variáveis: Variação Percentual da Média Anual de Monóxido de Carbono (CO) e Variação Percentual da Média Anual de Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>), quando relacionada à Variação Percentual do PIB dos estados de São Paulo, Paraná e Espírito Santo, nos postos 4 e 5. Ressalta-se que foi confirmado o proposto por Johansen (1988), de que a hipótese nula de  $r = 0$  significa que não há cointegração, pois uma classificação  $r > 0$  implica uma relação de cointegração entre duas ou mais séries temporais. Estes resultados demonstram, portanto, uma interdependência, de longo prazo, entre a qualidade do ar e desenvolvimento econômico. Alexander (2001) destaca que as variáveis, ao apresentarem uma relação de interdependência temporal, sugerem a existência de causalidade entre elas. Isto posto, foi realizado o teste de Causalidade de Granger para inferir se os valores passados de uma variável auxiliam na previsão da outra, através de um sistema bivariado. Os resultados são observados através da Tabela 6.

**Tabela 6:** Teste de Causalidade de Granger aplicado às variáveis: Variação Percentual da Média Anual de Monóxido de Carbono (CO), Variação Percentual da Média Anual de Partículas Inaláveis (PM<sub>10</sub>), Variação Percentual da Média Anual de Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>) e Variação Percentual da Média Anual de Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>) associadas à Variação Percentual do PIB dos estados de São Paulo, Paraná e Espírito Santo para o período de 2003 a 2015 (em bases anuais).

Lag	$\Delta\%CO$ ~ $\Delta\%PIB$	$\Delta\%PIB$ ~ $\Delta\%CO$	$\Delta\%PM_{10}$ ~ $\Delta\%PIB$	$\Delta\%PIB$ ~ $\Delta\%PM_{10}$	$\Delta\%SO_2$ ~ $\Delta\%PIB$	$\Delta\%PIB$ ~ $\Delta\%SO_2$	$\Delta\%NO_2$ ~ $\Delta\%PIB$	$\Delta\%PIB$ ~ $\Delta\%NO_2$
1	0,582	2,857 *	0,018	1,199	3,578 *	0,009	1,267	1,281
2	0,168	2,578 *	0,011	1,342	2,217	0,467	0,775	1,383
3	0,920	2,122 *	0,665	1,530	1,183	0,248	3,001 **	0,912
4	1,482	2,651 *	0,644	1,087	0,789	0,151	6,112 ***	5,361 ***
5	1,344	3,177 **	0,763	1,494	0,378	0,211	3,566 ***	1,619

Legenda: \* significância de 10%; \*\* significância de 5%; \*\*\* significância de 1%;  $\Delta\%$  variação percentual da média anual; ~ não Causa Granger; PIB Produto Interno Bruto; CO Monóxido de Carbono; PM<sub>10</sub> Partículas Inaláveis; SO<sub>2</sub> Dióxido de Enxofre; NO<sub>2</sub> Dióxido de Nitrogênio

Observa-se na Tabela 6 os resultados do teste de causalidade de Granger, utilizando dados em painéis; a hipótese nula de que Variação Percentual da Média Anual de Monóxido de Carbono (CO) não causa a Variação Percentual do PIB dos estados para os lags 1, 2, 3, 4 e 5, foi rejeitada; isto denota que uma variação na tendência da qualidade do ar de um ano implica na variação do PIB nos anos subsequentes. Observa-se ainda que o impacto se estende por diversos anos (anos 1, 2, 3 e 4, subsequentes à alteração da qualidade do ar), denotando um impacto acumulativo da qualidade do ar no desenvolvimento econômico de tais estados. Este resultado pode ser parcialmente explicado

pelos custos de saúde associados à poluição do ar no Brasil, como descrito em da Motta e Mendes (1995), Tayra et al. (2012), Bachi Junior (2016) e Abe (2016).

Por outra via, observa-se que rejeitou-se a hipótese nula do teste de causalidade de Granger de que Variação Percentual da Média Anual do Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>) não causa a Variação Percentual do PIB dos estados para os lags 3, 4 e 5, denotando um impacto acumulativo de longo prazo. Este resultado possivelmente resulta do pelo acúmulo de fatores estressores à saúde humana, podendo a levar à problemas de saúde e à mortalidade, havendo maiores gastos com saúde e impactos à economia pela ocorrência de mortes prematuras. Ambos os resultados estão alinhados à outras pesquisas que demonstram que a qualidade do ar causa impacto no desenvolvimento econômico (Dinda, Coondoo e Pal, 2000; Dinda, 2004; Narayan e Narayan, 2010; Shahbaz; Lean e Shabbir, 2012; Lau, Choong e Eng, 2014; Al-Mulali; Saboori e Ozturk, 2015; Dogan e Turkekul, 2016; Pablo-Romero e De Jesús, 2016; Shahbaz e Sinha, 2019; Sarkodie e Ozturk, 2020).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo discute a relação existente entre desenvolvimento econômico (medido pelo PIB) e a qualidade do ar (medida pelo Monóxido de Carbono (CO), Partículas Inaláveis (PM<sub>10</sub>), Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>) e Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>)), em que a hipótese EKC foi usada como o principal método para explicar essa relação. Como pré-requisitos ao teste de causalidade de Granger buscou-se investigar a estacionariedade e a cointegração entre as séries temporais dessas variáveis.

Os resultados do teste de causalidade de Granger indicam um fluxo causal, unidirecional, em curto prazo, entre qualidade do ar (medido pela Variação Percentual da Média Anual de Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>)) e desenvolvimento econômico (medido pela Variação Percentual do PIB dos estados de São Paulo, Paraná e Espírito Santo para o período de 2003 a 2015). Foi observada uma relação bidirecional das emissões atmosféricas, medidas pela Variação Percentual da Média Anual de Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>), denotando acúmulo de fatores estressores à saúde humana, que podem levar a problemas de saúde e mortalidade, ocasionando impactos à economia pela ocorrência de mortes prematuras e gastos com saúde. Por fim, observou-se um fluxo causal, unidirecional, sistemático de curto, médio e longo prazo, entre qualidade do ar (medido pela Monóxido de Carbono (CO)), e desenvolvimento econômico (medido pela Variação Percentual do PIB).

Por outra via, Autores como Coondoo e Dinda (2002), descrevem que o crescimento econômico ocorre mediante impacto ambiental. Nesta pesquisa pode-se observar este efeito somente em médio prazo, uma vez que se rejeitou a hipótese nula de que o desenvolvimento econômico (medido pela Variação Percentual do PIB) apresenta causalidade do tipo Granger na poluição do ar (medido Variação Percentual da Média Anual de Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>), medido no quarto lag. Este resultado é parcialmente explicado pelo fato dos veículos automotores, motores de combustão interna, usinas termelétricas, usinas siderúrgicas e fábricas de papel, que são os principais sintetizadores artificiais dos óxidos de nitrogênio. Estes três últimos entes industriais (usinas termelétricas, usinas siderúrgicas e fábricas de pasta de papel) têm um tempo de maturação de suas



atividades muito maior, havendo, portanto, um impacto de longo prazo na poluição do ar. Este tempo é necessário para o empreendedor acumular o capital, aumentar sua confiança no setor, e para a realização de tais investimentos, bem como o tempo necessário para a conclusão desses investimentos para somente, após vários anos, começar a gerar impactos no meio ambiente.

Conclui-se nesta pesquisa que há a necessidade da criação de políticas econômicas e ambientais que visem um equilíbrio dinâmico tanto da qualidade do ar quanto do crescimento econômico, desenvolvendo-se uma política econômica sustentável, uma vez que o ar é um recurso natural chave à Vida. Ainda, a poluição do ar pode levar a graves consequências à saúde da população, provocando morte e impactos econômicos importantes e de difícil reversão. Há luz nesse caminho através do crescente desenvolvimento de modelos de negócios baseados em cadeias de suprimentos sustentáveis suportadas por tecnologia, a “economia circular”, e a “servitização”. A combinação desses elementos certamente irá prover uma nova dinâmica do conceito de rentabilidade pelo olhar do produto margem x giro muito mais eficiente do ponto de vista energético e no consumo de recursos, com ciclos de vida de produtos mais longos (Farooque et al, 2019; Angelis et. al, 2017; Shah et. al, 2020; Formentini, 2020).

## REFERÊNCIAS

- Abe, K. C., & Miraglia, S. G. E. K. (2016): “Health impact assessment of air pollution in São Paulo, Brazil”. *International journal of environmental research and public health*, 13(7), 694.
- Ahmad, N.; Du, L.; Lu, J.; Wang, J.; Li, H. Z.; Hashmi, M. Z. (2017): “Modelling the CO<sub>2</sub> emissions and economic growth in Croatia: is there any environmental Kuznets curve?”. *Energy* 123:164-172.
- Aiube, F. A. L. (2013): “*Modelos quantitativos em finanças com enfoque em commodities*”. Porto Alegre: Editora Bookman.
- Akbostancı, E.; Türüt-Aşık, S.; Tunç, G. İ. (2009): “The relationship between income and environment in Turkey: is there an environmental Kuznets curve?”. *Energy Policy* 37(3):861-867.
- Alexander, C. (2001): “*Market models. A Guide to Financial Data Analysis*”. 1.ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd. 394 p.
- Al-Mulali, U.; Ozturk, I. (2016): “The investigation of environmental Kuznets curve hypothesis in the advanced economies: the role of energy prices”. *Renew SustEnergy Rev* 54:1622-1631.
- Al-Mulali, U.; Saboori, B.; Ozturk, I. (2015): “Investigating the environmental Kuznets curve hypothesis in Vietnam”. *Energy Policy* 76:123-131.
- Al-Mulali, U.; Solarin, S. A.; Ozturk, I. (2016): “Investigating the presence of the environmental Kuznets curve (EKC) hypothesis”. In Kenya: na autoregressive distributed lag (ARDL) approach. *Nat Hazards* 80(3):1729-1747.
- Ang, J. B. (2007): “CO<sub>2</sub> emissions, energy consumption, and output”. In France. *Energy Policy* 35(10):4772-4778

- Angelis, Roberta & Howard, Mickey & Miemczyk, Joe. (2017). Supply Chain Management and the Circular Economy: towards the Circular Supply Chain. *Production Planning and Control*. 29. 425-437. 10.1080/09537287.2018.1449244.
- Aslan, A.; Destek, M. A.; Okumus, I. (2018): "Bootstrap rolling window estimation approach to analysis of the environment Kuznets curve Environ Sci Pollut Res hypothesis: evidence from the USA". *Environ Sci Pollut Res* 25(3): 2402-2408.
- Atasoy, B. S. (2017): "Testing the environmental Kuznets curve hypothesis across the US: evidence from panel mean group estimators". *RenewSustEnergyRev* 77:731-747.
- Bachi Junior, D. (2016): "Avaliação econômica em decorrência da poluição do ar na saúde humana causada pelo impacto da instalação de uma Termoelétrica a gás natural: um estudo de caso para as cidades de Lorena, Canas e Cachoeira Paulista [SP]". *Labor E Engenho*, 10(4), 402-412. <https://doi.org/10.20396/labore.v10i4.8646242>
- Balaguer, J.; Cantavella, M. (2016): "Estimating the environmental Kuznets curve for Spain by considering fuel oil prices (1874-2011)". *Ecol Indic* 60:853-859.
- Balaguer, J.; Cantavella, M. (2018): "The role of education in the environmental Kuznets curve. Evidence from Australian data". *Energy Econ* 70:289-296.
- Begum, R. A.; Sohag, K.; Abdullah, S. M. S.; Jaafar, M. (2015): "CO2 emissions, energy consumption, economic and population growth in Malaysia". *Renew SustEnergy Rev* 41:594-601.
- Bell, M. L., Davis, D. L., Gouveia, N., Borja-Aburto, V. H., Cifuentes, L. A. (2006): "The avoidable health effects of air pollution in three Latin American cities: Santiago, Sao Paulo, and Mexico City". *Environmental research*, 100(3), 431-440.
- Bölük, G.; Mert, M. (2015): "The renewable energy, growth and environmental Kuznets curve in Turkey: an ARDL approach". *Renew SustEnergy Rev* 52:587-595.
- Brajer, V.; Mead, R. W.; Xiao, F. (2011): "Searching for an environmental Kuznets curve in China's air pollution". *China Econ Rev* 22(3): 383-397.
- Bulut, U. (2019): "Testing environmental Kuznets curve for the USA under a regime shift: the role of renewable energy". *EnvironSciPollut Res*: 1-8.
- Cavalcanti, M. A. (2010): "Identificação de modelos VAR e causalidade de Granger: uma nota de advertência". *Economia Aplicada*, 14(2), 251-260.
- Cavalheiro, E. A.; Pierre, F.; Rodriguez, A. M. (2019): "A qualidade da água de rios impacta no desenvolvimento econômico? Uma abordagem usando causalidade de granger com dados em painéis em rios e estados brasileiros". *Desarrollo Local Sostenible*, (Diciembre).
- Chen, B.; Kan, H. (2008): "Air pollution and population health: a global challenge". *Environmental health and preventive medicine*, 13(2), 94-101.

- Chen, J.; Li, C.; Ristovski, Z.; Milic, A.; Gu, Y.; Islam, M. S.; Guo, H. (2017): "A review of biomass burning: Emissions and impacts on air quality, health and climate in China". *Science of the Total Environment*, 579, 1000-1034.
- Cho, C. H.; Chu, Y. P.; Yang, H. Y. (2014): "An environment Kuznets curve for GHG emissions: a panel cointegration analysis". *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy* 9(2):120-129.
- Chow, G. C.; Li, J. (2014): "Environmental Kuznets curve: conclusive econometric evidence for CO<sub>2</sub>". *Pac Econ Rev* 19(1):1-7.
- Churchill, S. A.; Inekwe, J.; Ivanovski, K.; Smyth, R. (2018): "The environmental Kuznets curve in the OECD: 1870-2014". *Energy Econ* 75:389-399.
- CODEPLAN: "Companhia de Planejamento do Distrito (2019). Federal. Série PIB Brasil e Unidades da Federação". Disponível em: <http://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2019/02/Serie-PIB-Brasil-e-Unidades-da-Federa%C3%A7%C3%A3o.xlsx>. Acesso em: 30/08/2019.
- da Motta, R. S.; Mendes, A. P. (1995): "Custos de saúde associados à poluição do ar no Brasil". *Pesquisa e Planejamento Econômico*, 25(1), 165-198.
- da Silveira Bueno, R. D. L. (2008): "*Econometria de séries temporais*". Cengage Learning.
- Dehnavi, J.; Haghnejad, A. (2012): "Energy consumption, economic growth, and pollution in selected OPEC countries: testing the environmental Kuznets curve hypothesis". *Journal of Academic Research in Economics* 4(2):1-18.
- Destek, M. A. (2019): "Investigation on the role of economic, social, and political globalization on environment: evidence from CEECs". *Environ Sci Pollut Res*:1-14.
- Destek, M. A.; Sarkodie, S. A. (2019): "Investigation of environmental Kuznets curve for ecological footprint: the role of energy and financial development". *Sci Total Environ* 650:2483-2489.
- Destek, M. A.; Sinha, A. (2020): "Renewable, non-renewable energy consumption, economic growth, trade openness and ecological footprint: evidence from organisation for economic co-operation and development countries". *J Clean Prod* 242:118537.
- Destek, M. A.; Ulucak, R.; Dogan, E. (2018): "Analyzing the environmental Kuznets curve for the EU countries: the role of ecological footprint". *Environ Sci Pollut Res* 25(29):29387-29396.
- Destek M. A.; Shahbaz, M.; Okumus, I.; Hammoudeh, S.; Sinha, A.: "The relationship between economic growth and carbon emissions in G-7 countries: evidence from time-varying parameters with a long history", *Environmental Science And Pollution Research*, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09189-y>
- Dinda, S. (2004): "Environmental Kuznets curve hypothesis: a survey". *Ecol Econ* 49(4):431-455
- Dinda, S.; Coondoo, D.; Pal, M. (2000): "Air quality and economic growth: an empirical study". *Ecol Econ* 34(3):409-423

- Dogan, E.; Turkekul, B. (2016): "CO2 emissions, real output, energy consumption, trade, urbanization and financial development: testing the EKC hypothesis for the USA". *EnvironSciPollut Res* 23(2):1203-1213.
- Escuciatto, E., Dziedzic, M., Vasconcelos, E. C. (2016): "A influência da renovação da frota de veículos na qualidade do ar na região central de Curitiba". *Revista Brasileira de Ciências Ambientais* (Online), (42), 2-11.
- Esteve, V.; Tamarit, C. (2012): "Threshold cointegration and nonlinear adjustment between CO<sub>2</sub> and income: the environmental Kuznets curve in Spain, 1857-2007". *Energy Econ* 34(6):2148-2156.
- Farhani, S.; Ozturk, I. (2015): "Causal relationship between CO<sub>2</sub> emissions, real GDP, energy consumption, financial development, trade openness, and urbanization in Tunisia". *Environ Sci Pollut Res* 22(20): 15663-15676.
- Farhani, S.; Shahbaz, M.; Arouri, M. E. H. (2013): "Panel analysis of CO<sub>2</sub> emissions, GDP, energy consumption, trade openness and urbanization for MENA countries". <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/id/eprint/49258>. Acesso em: 30/08/2019.
- Farhani, S.; Mrizak, S.; Chaibi, A.; Rault, C. (2014a): "The environmental Kuznets curve and sustainability: a panel data analysis". *Energy Policy* 71:189-198.
- Farhani, S.; Chaibi, A.; Rault, C. (2014b): "CO<sub>2</sub> emissions, output, energy consumption, and trade in Tunisia". *Econ Model* 38:426-434.
- Farooque, Muhammad & Zhang, Abraham & Thurer, Matthias & Qu, Ting & Huisingh, Donald. (2019). Circular supply chain management: A definition and structured literature review. *Journal of Cleaner Production*. 228. 10.1016/j.jclepro.2019.04.303.
- Formentini, Marco. (2020). Sustainable Supply Chain Management. 10.1007/978-3-030-56344-8\_12.
- Fosten, J.; Morley, B.; Taylor, T. (2012): "Dynamic misspecification in the environmental Kuznets curve: evidence from CO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> emissions in the United Kingdom". *Ecol Econ* 76:25-33.
- Ghorani-Azam, A.; Riahi-Zanjani, B.; Balali-Mood, M. (2016): "Effects of air pollution on human health and practical measures for prevention in Iran". *Journal of research in medical sciences: the official journal of Isfahan University of Medical Sciences*, 21.
- Grossman, G. M.; Krueger, A. B. (1991): "*Environmental impacts of a North American free trade agreement (No. w3914)*". National Bureau of Economic Research.
- Gujarati, D. N. (2009): "*Basic econometrics*". Tata McGraw-Hill Education.
- Hao, Y.; Peng, H.; Temulun, T.; Liu, L. Q.; Mao, J.; Lu, Z. N.; Chen, H. (2018): "How harmful is air pollution to economic development? New evidence from PM<sub>2.5</sub> concentrations of Chinese cities". *Journal of Cleaner Production*, 172, 743-757.
- He, J.; Richard, P. (2010): "Environmental Kuznets curve for CO<sub>2</sub> in Canada". *EcolEcon* 69(5):1083-1093.

- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2020): “Concentração de poluentes no ar em áreas urbanas Disponível em:<<https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/892>>”. Acesso em, 19/06/2020.
- IPCC, 2014: “Climate Change 2014: Mitigation of ClimateChange”. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>. Acesso em: 21-03-2020.
- Iwata, H.; Okada, K.; Samreth, S. (2010): “Empirical study on the environmental Kuznets curve for CO2 in France: the role of nuclear energy”. *Energy Policy* 38(8):4057-4063.
- Jalil, A.; Mahmud, S. F. (2009): “Environment Kuznets curve for CO2 emissions: a cointegration analysis for China”. *Energy Policy* 37(12): 5167-5172.
- Javid, M.; Sharif, F. (2016): “Environmental Kuznets curve and financial development in Pakistan”. *Renew SustEnergy Rev* 54:406-414.
- Jebli, M. B.; Youssef, S. B. (2015): “The environmental Kuznets curve, economic growth, renewable and non-renewable energy, and trade in Tunisia”. *Renew SustEnergy Rev* 47:173-185.
- Johansen, S. (1988): “Statistical analysis of cointegration vectors”. *Journal of economic dynamics and control*, 12(2-3), 231-254.
- Kasman, A.; Duman, Y. S. (2015): “CO2 emissions, economic growth, energy consumption, trade and urbanization in new EU member and candidate countries: a panel data analysis”. *Econ Model* 44:97-103.
- Khan, D.; Ullah, A. (2019): “Testing the relationship between globalization and carbon dioxide emissions in Pakistan: does environmental Kuznets curve exist?”. *Environ Sci Pollut Res*, 1-15.
- Kuznets, S. (1955): “Economic growth and income inequality”. *The American economic review*, 45(1), 1-28.
- Lau, L. S.; Choong, C. K.; Eng, Y. K. (2014): “Investigation of the environmental Kuznets curve for carbon emissions in Malaysia: do foreign direct investment and trade matter?”. *Energy Policy*, 68, 490-497.
- Li T.; Wang, Y.; Zhao, D. (2016): “Environmental Kuznets curve in China: new evidence from dynamic panel analysis”. *Energy Policy* 91:138-147.
- Muhammad, S.; Lean, H. H.; Muhammad, S. S. (2011): “Environmental Kuznets curve and the role of energy consumption in Pakistan Nasir M, Rehman FU (2011) Environmental Kuznets curve for carbon emissions in Pakistan: an empirical investigation”. *Energy Policy* 39(3):1857-1864
- Narayan, P. K.; Narayan, S: “Carbon dioxide emissions and economic growth: panel data evidence from developing countries”. *Energy policy*, v. 38, n. 1, p. 661-666, 2010.
- Nasir, M. Rehman, F. U. (2011): “Environmental Kuznets curve for carbon emissions in Pakistan: an empirical investigation”. *Energy Policy* 39(3):1857-1864.

- Ozcan, B. (2013): "The nexus between carbon emissions, energy consumption and economic growth in Middle East countries: a panel data analysis". *Energy Policy* 62:1138-1147.
- Ozturk, I.; Al-Mulali, U. (2015): "Investigating the validity of the environmental Kuznets curve hypothesis in Cambodia". *Ecological Indicators*, 57, 324-330.
- Pablo-Romero, M. D. P.; De Jesús, J. (2016): "Economic growth and energy consumption: The energy-environmental Kuznets curve for Latin America and the Caribbean". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1343-1350.
- Pal, D.; Mitra, S. K. (2017): "The environmental Kuznets curve for carbon dioxide in India and China: Growth and pollution at crossroad". *Journal of Policy Modeling*, 39(2), 371-385.
- Panayotou, T. (1993): "Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development". (No. 992927783402676). International Labour Organization.
- Pao, H. T.; Yu, H. C.; Yang, Y. H. (2011): "Modeling the CO2 emissions, energy use, and economic growth in Russia". *Energy* 36(8):5094-5100
- Pata, U. K. (2018): "The influence of coal and noncarbohydrate energy consumption on CO2 emissions: revisiting the environmental Kuznets curve hypothesis for Turkey". *Energy* 160:1115-1123.
- Pope III, C. A.; Dockery, D. W. (2006): "Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect". *Journal of the air & waste management association*, 56(6), 709-742.
- Rafindadi, A. A. (2016): "Revisiting the concept of environmental Kuznets curve in period of energy disaster and deteriorating income: empirical evidence from Japan". *Energy Policy* 94:274-284.
- Raza, S. A.; Shah, N. (2018): "Testing environmental Kuznets curve hypothesis in G7 countries: the role of renewable energy consumption and trade". *Environ Sci Pollut Res* 25(27):26965-26977.
- Saboori, B.; Sulaiman, J. (2013): "Environmental degradation, economic growth and energy consumption: evidence of the environmental Kuznets curve in Malaysia". *Energy Policy* 60:892-905.
- Saboori, B.; Sulaiman, J. Mohd, S. (2012a): "Economic growth and CO2 emissions in Malaysia: a cointegration analysis of the environmental Kuznets curve". *Energy Policy* 51:184-191.
- Saboori, B.; Sulaiman, J. B.; Mohd, S. (2012b): "An empirical analysis of the environmental Kuznets curve for CO2 emissions in Indonesia: the role of energy consumption and foreign trade". *Int J Econ Financ* 4(2):243-251.
- Sarkodie, S. A.; Owusu, P. A. (2016): "A review of Ghana's energy sector national energy statistics and policy framework". *Cogent Engineering*, 3(1), 1155274.

- Sarkodie, S. A.; Strezov, V. (2018): "Assessment of contribution of Australia's energy production to CO<sub>2</sub> emissions and environmental degradation using statistical dynamic approach". *Science of the Total Environment*, 639, 888-899.
- Sarkodie, S. A.; Strezov, V. (2019): "A review on environmental Kuznets curve hypothesis using bibliometric and meta-analysis". *Science of the total environment*, 649, 128-145.
- Sarkodie, S. A.; Ozturk, I. (2020): "Investigating the environmental Kuznets curve hypothesis in Kenya: a multivariate analysis". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 117, 109481.
- Selden, T. M.; Song, D. (1994): "Environmental quality and development: is there a Kuznets curve for air pollution emissions?". *Journal of Environmental Economics and management*, 27(2), 147-162.
- Shah, Syed Aamir Ali & Jajja, Muhammad Shakeel Sadiq & Chatha, Kamran & Farooq, Sami. (2020). Servitization and supply chain integration: An empirical analysis. *International Journal of Production Economics*. 229. 107765. 10.1016/j.ijpe.2020.107765.
- Shahbaz, M.; Sinha, A. (2019): "Environmental Kuznets curve for CO<sub>2</sub> emissions: a literature survey". *J Econ Stud* 46(1):106-168.
- Shahbaz, M.; Lean, H. H.; Shabbir, M. S. (2012): "Environmental Kuznets curve hypothesis in Pakistan: cointegration and Granger causality". *Renew SustEnergy Rev* 16(5):2947-2953
- Shahbaz, M.; Mutascu, M.; Azim, P. (2013a): "Environmental Kuznets curve in Romania and the role of energy consumption". *Renew SustEnergy Rev* 18:165-173.
- Shahbaz, M.; Ozturk, I.; Afza, T.; Ali, A. (2013b): "Revisiting the environmental Kuznets curve in a global economy". *Renew SustEnergy Rev* 25:494-502.
- Shahbaz, M.; Khraief, N.; Uddin, G.S.; Ozturk, I. (2014a): "Environmental Kuznets curve in an open economy: a bounds testing and causality analysis for Tunisia". *Renew SustEnergy Rev* 34:325-336.
- Shahbaz, M.; Sbia, R.; Hamdi, H.; Ozturk, I. (2014b): "Economic growth, electricity consumption, urbanization and environmental degradation relationship in United Arab Emirates". *Ecol Indic* 45:622-631.
- Shahbaz, M.; Dube, S.; Ozturk, I.; Jalil, A. (2015): "Testing the environmental Kuznets curve hypothesis in Portugal". *Int J Energy Econ Policy* 5(2):475-481.
- Shahbaz, M.; Mahalik, M. K.; Shah, S. H.; Sato, J. R. (2016): "Time-varying analysis of CO<sub>2</sub> emissions, energy consumption, and economic growth nexus: statistical experience in Next 11 countries". *Energy Policy* 98: 33-48.
- Shahbaz, M.; Solarin, S. A.; Hammoudeh, S.; Shahzad, S. J. H. (2017a): "Bounds testing approach to analyzing the environment Kuznets curve hypothesis with structural breaks: the role of biomass energy consumption in the United States". *Energy Econ* 68:548-565.

- Shahbaz, M.; Shafiullah, M.; Papavassiliou, V. G. Hammoudeh, S. (2017b): "The CO<sub>2</sub>-growth nexus revisited: a nonparametric analysis for the G7 economies over nearly two centuries". *Energy Econ* 65:183-193.
- Shahbaz, M.; Destek, M. A., Polemis, M. L. (2018): "Do foreign capital and financial development affect clean energy consumption and carbon emissions? Evidence from BRICS and next-11 countries". *SPOUDAI-Journal of Economics and Business* 68(4):20-50.
- Shahbaz, M.; Haouas, I.; Van Hoang, T. H. (2019): "Economic growth and environmental degradation in Vietnam: is the environmental Kuznets curve a complete picture?". *Emerg Mark Rev* 38:197-218.
- Sheldon, T. L. (2019): "Carbon emissions and economic growth: a replication and extension". *Energy Economics*, 82, 85-88.
- Solarin, S. A.; Al-Mulali, U.; Ozturk, I. (2017): "Validating the environmental Kuznets curve hypothesis in India and China: the role of hydroelectricity consumption". *Renew SustEnerg Rev* 80:1578-1587.
- Steinle, S., Reis, S., Sabel, C. E., Semple, S., Twigg, M. M., Braban, C. F., Wu, H. (2015): "Personal exposure monitoring of PM<sub>2.5</sub> in indoor and outdoor microenvironments". *Science of the Total Environment*, 508, 383-394.
- Stern, D. I.; Common, M. S. (2001): "Is there an environmental Kuznets curve for sulfur?". *Journal of Environmental Economics and Management* 41(2):162-178.
- Suri, V.; Chapman, D. (1998): "Economic growth, trade and energy: implications for the environmental Kuznets curve". *Ecol Econ* 25(2):195-208.
- Tayra, F.; Ribeiro, H.; Nardocci, A. D. C. (2012): "Economic cost of air pollution in Cubatão-SP based on health expenses related to diseases of the respiratory and circulatory systems". *Saúde e Sociedade*, 21, 760-775.
- Tiwari, A. K.; Shahbaz, M.; Hye, Q. M. A. (2013): "The environmental Kuznets curve and the role of coal consumption in India: cointegration and causality analysis in an open economy". *Renew SustEnerg Rev* 18: 519-527.
- Tsay, R. S. (2005): "Analysis of financial time series (Vol. 543)". John Wiley & Sons.
- Wang, Z. (2019): "Does biomass energy consumption help to control environmental pollution? Evidence from BRICS countries". *Sci Total Environ* 670:1075-1083.
- WDI (2018): "World development indicators, the World Bank". <https://databank.worldbank.org/data/source/world-developmentindicators#>. Acesso em: 30/08/2019.
- Yavuz, N. Ç. (2014): "CO<sub>2</sub> emission, energy consumption, and economic growth for Turkey: evidence from a cointegration test with a structural break". *Energy Sources, Part B: Economics & Planning, and Policy* 9(3):229-235.