



## ARTIGO ORIGINAL

## Aplicação da metodologia de Box & Jenkins para análise das emissões de dióxido de carbono no Brasil<sup>1</sup>

### *Application of Box & Jenkins methodology for analysis of carbon dioxide emissions in Brazil*

### *Aplicación de la metodología de Box & Jenkins para análisis de las emisiones de dióxido de carbono en Brasil*

Jéferson Réus da Silva Schulz<sup>2</sup>, Janis Elisa Ruppenthal<sup>3</sup>

**PALAVRAS-CHAVE**  
Sustentabilidade;  
Emissões; Gases de  
Efeito Estufa.

**Resumo:** A ocorrência de fatores que reduzem a qualidade do meio ambiente, como as emissões de gases de efeito estufa (GEE), representa um problema de âmbito global. Diante disso, considera-se necessário e importante acompanhar a dinâmica e o comportamento das emissões de GEE e conhecer o seu mecanismo gerador. O objetivo do presente estudo consiste em analisar as emissões de CO<sub>2</sub> (kt) no Brasil, de 1960 até 2013, por meio da aplicação da metodologia de Box & Jenkins e realizar uma previsão *in-sample* para essa série histórica. Os resultados indicam que as emissões de CO<sub>2</sub> (kt) cresceram consideravelmente no país durante o período observado. O modelo que melhor representa a série temporal em análise é um ARIMA (0,1,2), possibilitando uma boa previsão para a amostra de dados. O cenário atual aponta a inovação como uma ferramenta potencializadora das ações mitigatórias, uma vez que permite coadunar produtividade e sustentabilidade para o alcance do desenvolvimento sustentável.

**KEYWORDS**  
Sustainability;  
Emissions; Greenhouse  
Gases.

**Abstract:** *The occurrence of factors that reduce the quality of the environment, such as greenhouse gas (GHG) emissions, represents a global problem. Given this, it is considered necessary and important to monitor the dynamics and behavior of GHG emissions and to know its generating mechanism. The objective of the present study is to analyze CO<sub>2</sub> (kt) emissions in Brazil, from 1960 to 2013, by applying the Box & Jenkins methodology and to carry out an in-sample forecast for this historical series. The results indicate that CO<sub>2</sub> emissions (kt) increased considerably in the country during the observed period. The model that best represents the time series under analysis is an ARIMA (0,1,2), allowing a good forecast for the data sample. The current scenario points to innovation as a potential tool for mitigation actions, since it allows to coordinate productivity and sustainability for the achievement of sustainable development.*

<sup>1</sup> Submetido em 10.07.2017. Aceite em 04.09.2018. Publicado em 05.02.2019. Responsável Universidade Federal de Campina Grande/UACC/PROFIAP/CCJS/UFCG.

<sup>2</sup> Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: [jefersonschulz@gmail.com](mailto:jefersonschulz@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7524-2010>

<sup>3</sup> Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: [janis.rs.br@gmail.com](mailto:janis.rs.br@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3857-0220>

**PALABRAS CLAVE**  
Sostenibilidad;  
Emisiones; Gases de  
Efecto Invernadero.

---

**Resumen:** *La ocurrencia de factores que reducen la calidad del medio ambiente, como las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), representa un problema de carácter global. Por lo tanto, se considera necesario e importante acompañar la dinámica y el comportamiento de las emisiones de GEI y conocer su mecanismo generador. El objetivo del presente estudio consiste en analizar las emisiones de CO<sub>2</sub> (kt) en Brasil, desde 1960 hasta 2013, através de la aplicación de la metodología de Box & Jenkins y realizar una previsión in-sample para esa serie histórica. Los resultados indican que las emisiones de CO<sub>2</sub> (kt) crecieron considerablemente en el país durante el período observado. El modelo que mejor representa la serie temporal en análisis es un ARIMA (0,1,2), posibilitando una buena previsión para la muestra de datos. El escenario actual apunta a la innovación como una herramienta potencializadora de las acciones mitigatorias, ya que permite coadunar productividad y sostenibilidad para el logro del desarrollo sostenible.*

## Introdução

Os efeitos causados pelo processo de crescimento econômico sobre os recursos naturais e ambientais tornaram-se uma questão central, implicando o aumento da preocupação com a preservação do meio ambiente (BENGOCHEA-MORANCHO; HIGÓN-TAMARIT; MARTÍNEZ-ZARZOSO, 2001). Tal processo, decursivo das atividades humanas, acarreta a emissão de gases de efeito estufa (GEE), que consiste na causa principal do aquecimento global e das mudanças climáticas (BENGOCHEA-MORANCHO; HIGÓN-TAMARIT; MARTÍNEZ-ZARZOSO, 2001).

Conforme o Intergovernmental Panel on Climate Change (Painel Intergovernamental de Mudança Climática - IPCC) (2007), as alterações nas concentrações atmosféricas de GEE, aerossóis, cobertura terrestre e radiação solar, provocam modificações no balanço energético do sistema climático. Ainda segundo a referida fonte, as emissões globais de GEE devido às atividades humanas aumentaram desde a era pré-industrial em 70,00%, considerando-se o período de 1970 até 2004.

Entre os GEE tem-se o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>), o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), o perfluorcarbono (PFC), o hidrofluorcarbono (HFC) e o hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>), altamente nocivos ao meio ambiente quanto emitidos em grandes quantidades. O dióxido de carbono é o GEE antrópico que requer maior atenção, uma vez que as suas emissões anuais aumentaram 80,00% de 1970 até 2004 (IPCC, 2007).

As concentrações atmosféricas globais de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso, cresceram acentuadamente desde 1750 como resultado das atividades humanas (IPCC, 2007). Atualmente, essas concentrações ultrapassam significativamente as quantidades pré-industriais determinadas a partir de núcleos de gelo que cobrem milhares de anos (IPCC, 2007).

As atividades humanas perfazem a maior proporção da parcela de dióxido de carbono emitida diariamente no planeta, em que até 80,00% do CO<sub>2</sub> é proveniente da queima de combustíveis fósseis e de usos industriais (COMISSÃO ECONÔMICA PARA A AMÉRICA LATINA E O CARIBE - CEPAL, 2016). De 2000 até 2010, as emissões cresceram mais rapidamente do que na década anterior, sobretudo em razão do aumento da utilização de carvão para a geração de energia (CEPAL, 2016). Esses dados tornam-se ainda mais preocupantes considerando-se que a atual concentração de GEE na atmosfera caracteriza-se como a mais elevada dos últimos 800 mil anos (CEPAL, 2016).

Esse cenário adverso tem repercutido em diversos segmentos, atingindo as esferas ambiental, econômica e social. Há concordância e evidências de que as atuais políticas de mitigação das mudanças climáticas e as práticas de desenvolvimento sustentável relacionadas, são insuficientes para promover uma redução das emissões globais de GEE (IPCC, 2007). Essas, continuarão crescendo nas próximas décadas se ações rigorosas não forem implementadas (IPCC, 2007).

A questão ambiental tornou-se pauta da agenda de discussões de conferências internacionais, em que líderes mundiais buscam por soluções para esse agravante. Como resultado, tem-se uma série de acordos multilaterais firmados entre países com o intuito de reduzir os impactos negativos do crescimento econômico sobre o meio ambiente. Dentre esses acordos, pode-se citar o Protocolo de Quioto (1997), em que se estabeleceu uma meta de redução de 5,00% das

emissões de GEE nos países desenvolvidos; e o mais recente, na 21<sup>a</sup> Conferência das Partes (COP-21) (2015), acordando-se limitar o aumento da temperatura média terrestre em 1,5°C acima dos níveis pré-industriais (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA, 2017).

Considera-se necessário acompanhar a dinâmica e o comportamento das emissões de GEE e conhecer o seu mecanismo gerador. Modelar essas emissões pode gerar instrumentos para tomadores de decisão nos setores público e privado. Isso possibilitaria aprimorar as políticas ambientais com base na implementação de ações estratégicas específicas, tendo como meta a mitigação dos impactos ambientais negativos causados pelo processo de crescimento econômico.

Entender a natureza e a dimensão dos impactos ambientais decursivos das emissões de GEE é crucial para a determinação de políticas de combate ao aquecimento global (MOTTA *et al.*, 2011). O objetivo do presente estudo consiste em analisar as emissões de CO<sub>2</sub> (kt) no Brasil, de 1960 até 2013, por meio da aplicação da metodologia de Box & Jenkins e realizar uma previsão *in-sample* para essa série histórica.

## Elementos teóricos da pesquisa

A presente pesquisa tem como escopo fundamental a temática da sustentabilidade, cada vez mais importante pela necessidade de conciliar crescimento econômico, preservação ambiental e equidade social. Inicialmente apresenta-se uma breve caracterização teórica do conceito de sustentabilidade. Na sequência, o estudo traz os aspectos mais gerais inerentes às emissões de GEE no Brasil, com foco no CO<sub>2</sub>.

### O conceito de sustentabilidade

O conceito de sustentabilidade, embora tenha passado a ser consideravelmente difundido nas últimas décadas, mesmo no século XXI ainda enfrenta inúmeros desafios de implementação em decorrência da complexidade que envolve (SMITH, 2015). A necessidade de equilíbrio no uso dos recursos naturais consiste no ponto de partida para uma definição clara e objetiva de sustentabilidade, sem que se incorra em uma utilização indiscriminada do termo.

Duas concepções amplamente aceitas na literatura especializada, e complementares, contribuem para o entendimento e para a definição de sustentabilidade. Uma delas tem origem na biologia e a outra na economia (NASCIMENTO, 2012; VEIGA, 2010).

Pela ótica da biologia, por meio da ecologia, a sustentabilidade refere-se à capacidade de recuperação e de reprodução dos ecossistemas (resiliência) em face de agressões antrópicas (como o uso abusivo dos recursos naturais, o desflorestamento, as queimadas, etc.) ou naturais (como os terremotos, os tsunamis, as queimadas, etc.) (NASCIMENTO, 2012; VEIGA, 2010). Pela ótica da economia, a sustentabilidade surge como adjetivo do desenvolvimento, em decorrência da percepção crescente ao longo do século XX de que o padrão de produção e de consumo em expansão no mundo, sobretudo no último quarto desse século, não tem possibilidade de perdurar (NASCIMENTO, 2012; VEIGA, 2010).

A definição de sustentabilidade está relacionada à

percepção da finitude dos recursos naturais e da sua gradativa e perigosa depleção (NASCIMENTO, 2012). Associada à sustentabilidade, está a necessidade de equalizar o empoderamento dos setores da sociedade com o intuito de que o equilíbrio e a sintonia entre os atores envolvidos, resultem no estabelecimento e na obediência de premissas sustentáveis nos ambientes público e privado (PINTO *et al.*, 2017).

O conceito de sustentabilidade tem sido abordado sob diversas perspectivas, recebendo novas contribuições para a sua construção e sendo incorporado às diversas áreas (AZEVEDO; PELICIONI, 2011). No setor privado, tem-se a sustentabilidade corporativa (empresarial), a sustentabilidade no mercado financeiro (finanças sustentáveis), e outras adaptações oriundas da necessidade de se implementar práticas sustentáveis no setor produtivo. No setor público, a abordagem está relacionada, principalmente, aos aspectos regulatórios. Isso se reflete no âmbito das políticas públicas ambientais, com foco no controle de emissões, incentivo à adoção de tecnologias limpas para uma produção mais limpa, entre outras formas de mitigação e de adaptação.

Na abordagem da teoria econômica, o conceito de sustentabilidade é interpretado por perspectivas diferentes e divergentes, a sustentabilidade fraca e a sustentabilidade forte (CAVALCANTI, 2010; VEIGA, 2010). A sustentabilidade fraca tem as suas bases nos pressupostos da economia ambiental neoclássica, enquanto a sustentabilidade forte ampara-se na economia ecológica.

Na sustentabilidade fraca, os problemas ambientais são considerados externalidades decorrentes do processo econômico, sendo passíveis de resolução por meio da correção das falhas de mercado via mecanismo de preços (CAVALCANTI, 2010). Pela ótica da sustentabilidade forte, baseada nas leis da termodinâmica, as propriedades do ambiente físico devem ser mantidas, tendo como norte o paradigma de que a economia consiste em um subsistema aberto do ecossistema global finito e não crescente (HEDIGER, 1999).

De modo geral, a busca pela sustentabilidade está associada à implementação de mudanças, sendo consideradas diferentes dimensões, com destaque para a ecológica, a econômica e a social (TAYRA, 2006). A consecução desse processo enfatiza a necessidade do estabelecimento de sistemas resilientes em relação à ecologia, à economia e à sociedade (ARNOLD, 2017). Uma avaliação adequada da sustentabilidade requer medidas simultâneas da dimensão ambiental, do desempenho econômico e da qualidade de vida, ou bem-estar, das pessoas (ARAS, CROWTHER, 2013; VEIGA, 2010).

### O cenário atual das emissões de GEE no Brasil

O efeito estufa consiste em um mecanismo atmosférico que mantém a Terra aquecida, sendo responsável por garantir a vida no planeta (ABREU *et al.*, 2014). No entanto, em excesso, as emissões de gases do efeito estufa têm ocasionado a elevação da temperatura dos oceanos e do ar, com riscos eminentes de uma mudança climática (ABREU *et al.*, 2014). Isso se deve ao fato de que o acúmulo dos GEE na atmosfera retém a radiação solar nas proximidades da superfície terrestre, desencadeando o chamado aquecimento

global (CARVALHO; PEROBELLI, 2009).

Os fenômenos recentes observados no sistema climático são resultado de uma série de mudanças nas interações de processos naturais que visam manter o equilíbrio entre a energia que é recebida do sol e a sua posterior liberação no espaço, o que satisfaz a condição necessária para conservar a estabilidade do clima no planeta (CORREA-MACANA; COMIM, 2013). Evidências mostram que em todos os continentes e na maioria dos oceanos, os sistemas naturais e humanos estão sendo afetados pelas alterações climáticas regionais, particularmente por aumentos de temperatura (IPCC, 2015).

Como resultado do acúmulo de GEE na atmosfera, pode-se citar, além do aumento da temperatura da Terra, a elevação do nível do mar nos próximos anos a ponto de inundar regiões situadas em litorais e deltas de rio (CARVALHO & PEROBELLI, 2009). Deve-se mencionar também os possíveis transtornos relacionados à produção agrícola nacional e internacional e aos sistemas comerciais, os quais são sensíveis às modificações verificadas de forma incontestante no clima (CARVALHO & PEROBELLI, 2009).

A preocupação mundial com o aquecimento global abarca uma nova perspectiva em relação à natureza do problema ambiental, passando-se a considerar a existência de um efeito em cadeia que se origina no meio ambiente e se estende à economia e ao comportamento social em geral (GODOY, 2013). Diante disso, a consequência da convergência de interesses em diminuir as emissões dos GEE fez com que as nações passassem a discutir as implicações e as soluções para esse problema (GODOY, 2013).

O meio ambiente é considerado um fator condicionante do crescimento econômico (OLIVEIRA; PORTO JÚNIOR, 2009). Com efeito, o regime geopolítico internacional do clima está centrado no desafio de estabelecer acordos que conciliem os interesses de desenvolvimento nacional e as diferentes estratégias de sustentabilidade de distintas nações, mesmo entre aquelas que estejam imbuídas do objetivo comum de evitar as mudanças climáticas (ROMEIRO; PARENTE, 2011).

O Brasil é signatário de diversos acordos multilaterais no esforço global de redução dos GEE, mesmo não tendo metas obrigatórias de mitigação de dióxido de carbono (LEAL *et al.*, 2015). No entanto, deve-se considerar que, em anos recentes, as taxas de crescimento das emissões de CO<sub>2</sub> têm sido consideravelmente significativas no país, as quais estão relacionadas ao aumento do uso do gás natural e à queda relativa da utilização do álcool (HILGEMBERG; GUILHOTO, 2006).

Em muitos países, sobretudo nos industrializados, o Produto Interno Bruto (PIB) depende essencialmente de fontes primárias de energia, como os combustíveis fósseis, apontados como os principais responsáveis pelas emissões de GEE (CEPAL, 2016). De 2000 até 2015, reportando-se ao consumo de energia e às respectivas emissões de CO<sub>2</sub>, o Brasil apresenta taxas médias anuais superiores às mundiais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA NUCLEAR - ABEN, 2016).

Tendo como referência o ano de 2015, o Brasil perdeu participação no produto da economia e aumentou no consumo de energia e nas emissões de CO<sub>2</sub> em relação aos demais países da América do Sul (ABEN, 2016). Além disso,

verifica-se uma redução em mais de 40,00% no volume total das emissões de GEE no país desde o ano 2000, a qual decorre da diminuição da taxa de desmatamento no país (ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO - OCDE, 2016).

Nesse mesmo período, as emissões provenientes do consumo de energia pelas indústrias e pelo transporte aumentaram substancialmente (OCDE, 2016). Um possível efeito dos impactos ambientais negativos refere-se à existência de previsões de um aumento geral da temperatura entre 3°C e 6°C até 2100 no Brasil (CEPAL, 2016). Outro possível efeito diz respeito às projeções de consideráveis variações regionais nas precipitações, com elevação de intensidade nas regiões Sul e Sudeste e intensificação da seca nas regiões Centro Oeste, Norte e Nordeste (CEPAL, 2016).

Diante de um cenário de crescimento da queima de combustíveis fósseis, os governos deparam-se com uma necessidade ecológica que implica a regulamentação das emissões de GEE com o intuito reduzir os impactos ambientais negativos (CUNHA; SCALCO, 2013). Essas ações têm sido aceleradas pela intensificação do efeito estufa, reflexo da progressiva interferência do homem no sistema climático do planeta, que passa por um processo de aquecimento global, em que as consequências são irreversíveis e possivelmente catastróficas para as sociedades humanas e para os ecossistemas e a sua biodiversidade (CUNHA; SCALCO, 2013).

Uma série de acordos internacionais pautados na redução das emissões têm sido formalizados em fóruns e discussões que reúnem representantes de diversos países. Um deles é a United Nations Framework Convention on Climate Change (Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima - UNFCCC), elaborada na Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (ECO-92 ou RIO-92), realizada no Rio de Janeiro em 1992, em que representantes de 179 países consolidaram uma agenda global para minimizar os problemas ambientais mundiais (MMA, 2017). O principal objetivo da UNFCCC consiste na estabilização das concentrações de GEE na atmosfera em um nível que impeça uma interferência antrópica perigosa no sistema climático global (MMA, 2017).

Recentemente, após a aprovação pelo Congresso Nacional, o Brasil concluiu, em 12 de setembro de 2016, o processo de ratificação do Acordo de Paris, sendo entregue à Organização das Nações Unidas (ONU) em 21 de setembro do mesmo ano, assumindo um caráter de compromisso oficial (MMA, 2017). Nesse documento, o país compromete-se a reduzir 37,00% das emissões de GEE até 2025, com base nos níveis verificados no ano de 2005 (MMA, 2017).

No curto prazo, há indícios de um trade off entre as restrições de emissões e os níveis de atividade econômica, uma vez constatada que a única forma de se reduzir a quantidade de CO<sub>2</sub> na economia é restringindo a produção dos setores (CARVALHO; PEROBELLI, 2009). As emissões não dependem da concentração espacial, e sim das inter-relações entre as diversas atividades produtivas distribuídas no sistema econômico (CARVALHO; PEROBELLI, 2009).

Isso abre espaço para as discussões relacionadas à adoção de “tecnologias limpas” nos processos produtivos e, conseqüentemente, sobre a produção limpa. Sob essa ótica, a inovação consiste em um instrumento potencializador da produtividade sem desprezar a necessidade de reduzir os impactos ambientais negativos gerados pelas atividades

produtivas. As inovações devem gerar resultados econômicos, sociais e ambientais positivos de forma simultânea, o que não é fácil de se fazer em decorrência das incertezas que elas trazem, principalmente quando são radicais ou com elevado grau de novidade em relação ao estado da arte (BARBIERI *et al.*, 2010).

## Elementos metodológicos da pesquisa

Esse estudo utiliza dados sobre as emissões de CO<sub>2</sub> (kt) no Brasil, de 1960 até 2013, disponibilizados no site do Banco Mundial (THE WORLD BANK, 2017). O método de análise consiste em aplicar a metodologia de Box & Jenkins para modelar a série temporal e realizar uma previsão *in-sample* das emissões de CO<sub>2</sub> no país.

Ressalta-se que utilizar o método de séries temporais permite conhecer o mecanismo gerador da série em estudo. Nesse procedimento, a variável em análise é explicada pelos seus valores passados, sem a necessidade de se incorporar variáveis exógenas ao modelo. Antes, convém explicitar alguns pressupostos da metodologia de Box & Jenkins e procedimentos gerais para análise de dados temporais.

### Processos estacionários

Considerando-se o seguinte modelo:  $y_t = \mu + \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1}$ , em que  $\varepsilon_t$  é um ruído branco, tem-se que  $y_t$  depende do erro contemporâneo,  $\varepsilon_t$ , e do erro imediatamente passado,  $\varepsilon_{t-1}$ , caracterizando um processo chamado de médias móveis de ordem 1, denotado como MA (1) (BUENO, 2011). Se o processo dependesse de  $\varepsilon_{t-2}$ , então seria denominado como MA (2) e assim por diante. Na forma geral, em um modelo MA (q), q representa a ordem do modelo e  $\theta$  o parâmetro do modelo.

Considerando-se o seguinte processo estocástico:  $y_t = c + \phi_1 y_{t-1} + \varepsilon_t$ , em que  $\varepsilon_t$  é um ruído branco, tem-se que a série é explicada pelos seus valores passados,  $y_{t-1}$ , e pelo termo de erro aleatório,  $\varepsilon_t$ , caracterizando um processo chamado de autorregressivo de ordem 1, denotado como AR (1) (BUENO, 2011). Se o processo dependesse de  $y_{t-2}$ , então seria denominado como AR (2) e assim por diante. Na forma geral, em um modelo AR (p), p representa a ordem do modelo e  $\theta$  o parâmetro do modelo.

Há modelos mistos, chamados de processos autorregressivos de médias móveis (ARMA). Nesses modelos, existe uma combinação dos processos AR (p) e MA (q), formando um ARMA (p,q). A equação geral de um modelo ARMA (1,1) tem o seguinte formato:  $y_t = \phi_1 y_{t-1} + \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1}$ .

### Processos não estacionários

Para os modelos mencionados, assume-se a condição de estacionariedade da série temporal. Se a série, em nível, não for estacionária, é necessário diferenciá-la d vezes até torná-la estacionária, ou seja, deixá-la estável. Logo, a série torna-se integrada de ordem d, I(d), em que d é número de vezes que a série foi diferenciada até tornar-se estacionária. Os modelos nesse formato são chamados de modelos autorregressivos integrados de médias móveis (ARIMA) (p,d,q). A equação geral de um modelo ARIMA (1,1,1) pode

ser denotada como:  $Dy_t = \phi_1 y_{t-1} + \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1}$ , em que D representa as diferenças realizadas na série original.

Os modelos de Box & Jenkins, genericamente conhecidos por ARIMA, são modelos matemáticos que visam captar o comportamento da correlação seriada, ou autocorrelação, entre os valores da série temporal, e com base nesse comportamento realizar previsões futuras (WERNER; RIBEIRO, 2003). Se essa estrutura de correlação for corretamente modelada, fornecerá previsões adequadas para os dados em análise (WERNER; RIBEIRO, 2003).

### Diagnóstico do modelo estimado

Como critérios de escolha para o modelo que melhor se ajusta à série de dados, utilizam-se os critérios de informação Akaike Information Criterion (AIC) e Bayesian Information Criterion (BIC), buscando-se pelo menor valor de cada uma dessas estatísticas. Depois de estimado o modelo, deve-se proceder o diagnóstico dos resíduos para verificar se seguem um formato de ruído branco, isto, é, sem memória, homocedásticos e normalmente distribuídos. Para tanto, são realizados alguns procedimentos:

i) para verificar se os resíduos apresentam memória, realiza-se a inspeção visual do correlograma dos erros, analisando-se os p-valores da estatística Q do Teste de Ljung-Box com a finalidade de constatar se os resíduos são ou não são serialmente correlacionados;

ii) adicionalmente, realiza-se o teste Breusch Godfrey para testar a autocorrelação dos resíduos, sob as hipóteses:  $H_0$  = inexistência de autocorrelação dos resíduos;  $H_1$ : existência de autocorrelação dos resíduos;

iii) para testar se os resíduos são homocedásticos, aplica-se o Teste ARCH LM (heterocedasticidade condicional autorregressiva), sob as hipóteses:  $H_0$  = ausência de efeito ARCH;  $H_1$ : presença de efeito ARCH;

iv) para testar a normalidade dos resíduos, aplica-se o Teste Jarque Bera, sob as hipóteses:  $H_0$ : os resíduos seguem uma distribuição normal;  $H_1$ : os resíduos não seguem uma distribuição normal;

v) de forma adicional, realiza-se o Teste Bartlett para confirmar se os dados são provenientes de um processo de ruído branco de variáveis aleatórias não correlacionadas, com média e variância constante, sob as hipóteses:  $H_0$ : os dados provêm de um processo de ruído branco;  $H_1$ : os dados não provêm de um processo de ruído branco.

Para todos os testes efetuados no estudo, assim como para a análise dos parâmetros dos modelos estimados, assume-se um nível de significância de 5,00%, que reflete de um nível de confiança de 95,00% sobre as inferências realizadas. Dessa forma, como critério de decisão para aceitação ou não aceitação de hipóteses, observa-se o p-valor dos coeficientes e dos testes empreendidos, comparando-o com o nível de significância adotado na pesquisa. Para os testes de raiz unitária, compara-se os valores críticos e os valores calculados das respectivas estatísticas.

Após a etapa de diagnóstico, pode-se realizar previsões. Tal procedimento pode ser efetuado sob duas abordagens. Uma delas é a previsão de valores dentro da amostra (*in-sample*), e a outra consiste na previsão de valores fora da amostra (*out-of-sample*). Nesse estudo, a previsão realizada é a *in-sample*.

Após realizada a previsão, são apresentadas as principais estatísticas de previsão para o modelo encontrado. Essas estatísticas consistem em medidas de desempenho da previsão efetuada, como o erro médio (EM), o erro absoluto médio (MAE), o erro quadrático médio (MSE) e o erro absoluto percentual médio (MAPE).

### Apresentação e discussão dos resultados

De 1960 até 2013, as emissões de CO<sub>2</sub> (kt) aumentaram de forma semelhante a uma curva exponencial no Brasil (Figura 1). Verifica-se que a série temporal apresenta uma tendência de crescimento que segue um padrão exponencial. Isso pode estar relacionado a diversos fatores, como por exemplo, uma elevação nos níveis de produtividade da economia, que implica uma maior queima de combustíveis fósseis e a liberação de GEE na atmosfera, principalmente, em função de usos industriais.

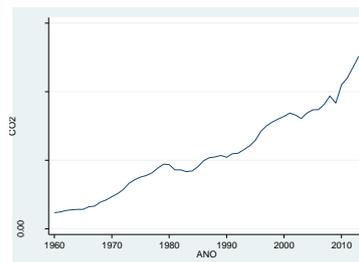


Figura 1 - Série temporal das emissões de CO<sub>2</sub> (kt) no Brasil em nível

Fonte: Elaboração própria (2017).

Observando-se o gráfico sequencial da série temporal das emissões de CO<sub>2</sub> (kt) em nível (Figura 1), verifica-se que há um comportamento indicativo de não estacionariedade, uma vez que, traçando-se uma linha horizontal imaginária, constata-se que os valores da série não oscilam acima e abaixo de um valor médio fixo. O gráfico permite ainda constatar que a série apresenta uma componente de tendência, que reflete o sentido do seu deslocamento ao longo do período analisado, isto é, a mudança do seu deslocamento no longo prazo.

A inspeção visual da série sugere que ela é não estacionária em nível. Isso indica a presença de alguma raiz nos operadores de retardo dentro do círculo unitário. No entanto, a inspeção visual da série consiste em um método informal para verificar a estacionariedade de uma série temporal. Isto é, apenas com a inspeção visual não é possível inferir se a série em estudo apresenta ou não raiz unitária. Portanto, foram desenvolvidos testes formais para constatar a presença de alguma raiz nos operadores de retardo dentro do círculo unitário da série.

Dentre os testes de raiz unitária pode-se citar o Dickey-Fuller (DF), o Dickey-Fuller Aumentado (ADF), o Phillips-Perron (PP), o Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS), o Elliot-Rothemberg-Stock (ERS) (DF-GLS) e o Ng-Perron (NGP), como os mais difundidos na literatura especializada e utilizados em estudos aplicados. Nessa pesquisa, são utilizados os testes ADF e KPSS, sendo considerada a constante e a influência da tendência para a série em nível. Os resultados dos testes para a série em nível

e em primeira diferença são apresentados na Tabela 1.

No Teste ADF, as hipóteses a serem testadas são: H0: há presença de raiz unitária, sendo a série não estacionária; H1: não há presença de unitária, sendo a série estacionária. Por formulações teóricas na mecânica de cada teste, as hipóteses são invertidas nos testes ADF e KPSS. Portando, no Teste KPSS, as hipóteses a serem testadas são: H0: não há presença de raiz unitária, sendo a série estacionária; H1: há presença de raiz unitária, sendo a série não estacionária.

**Tabela 1** - Testes de raiz unitária para a série temporal das emissões de CO2 (kt) no Brasil em nível e em primeira diferença.

Valores Críticos	Testes			
	Série em nível		Série em primeira diferença	
	ADF	KPSS	ADF	KPSS
1,00%	-4,1430	0,2160	-3,5770	0,2160
5,00%	-3,4970	0,1460	-2,9280	0,1460
10,00%	-3,1780	0,1190	-2,5990	0,1190
Estatística do Teste	0,2430	0,5710	-5,9120	0,1300

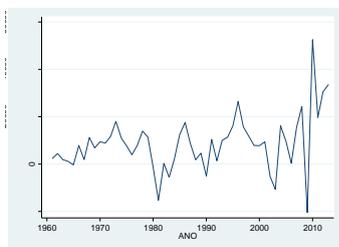
Fonte: Elaboração própria (2017).

O Teste ADF indica que a série em nível apresenta raiz unitária e, portanto, é não estacionária. O valor calculado da estatística tau (0,2430) é maior do que o valor crítico (-3,4970) a 5,00% de nível de significância. Logo, aceita-se a hipótese nula indicativa de presença de raiz unitária, sendo a série não estacionaria.

O resultado do Teste KPSS corrobora com o resultado encontrado pelo Teste ADF, indicando a presença de raiz unitária e, portanto, a não estacionariedade da série temporal. O valor calculado da estatística LM (0,5710) é maior do que o valor crítico (0,1460) a 5,00% de nível de significância. Logo, não se aceita a hipótese nula indicativa de estacionariedade, uma vez que a série apresenta raiz unitária.

Em vista disso, é necessário diferenciar a série em estudo para deixá-la estacionária, ou seja, estabilizá-la. A diferenciação consiste na aplicação de um filtro para remover a componente de tendência polinomial da série. Logo, a série torna-se integrada de ordem d "I(d)", em que d que indica o número de diferenças realizadas na série original. Com esse procedimento, a série em estudo perde uma observação a cada diferença realizada.

Conforme a Figura 2, verifica-se que a série em primeira diferença não apresenta a componente de tendência e, traçando-se uma linha horizontal imaginária, observa-se que os seus valores oscilam acima e abaixo de um valor médio fixo. A inspeção visual da série em primeira diferença sugere que ela é estacionária e que, portanto, não há presença de raiz nos operadores de retardo dentro do círculo unitário.



**Figura 2** - Série temporal das emissões de CO2 (kt) no Brasil em primeira diferença.

Fonte: Elaboração própria (2017).

Para confirmar a estacionariedade da série em primeira diferença, realizam-se novamente os testes de raiz unitária. O Teste ADF indica que, a 5,00% de nível de significância (tau calculado = -5,9120; tau crítico = -2,9280), a série é estacionária. Pelo Teste KPSS chega-se ao mesmo resultado, sendo a série estacionária a 5,00% de nível de significância (LM calculado = 0,1300; LM crítico = 0,1460). Logo, pode-se inferir com segurança que, em primeira diferença, a série temporal das emissões de CO2 (kt) não apresenta raiz unitária e é estacionária, sendo ela integrada de ordem 1 (I(1)).

Uma vez estabilizada a série temporal, pode-se realizar inferências seguras sobre os parâmetros estimados com base na aplicação de modelos econométricos para a modelagem de dados distribuídos ao longo do tempo. No Quadro 1 está a relação de modelos estimados para a série temporal de emissões de CO2 (kt) do Brasil. Considerando-se o nível de significância de 5,00% adotado nessa pesquisa, assim como os critérios de informação, ou penalização, AIC e BIC, o modelo que melhor representa a série de dados é o ARIMA (0,1,2).

Modelo	p-valor dos coeficientes	AIC	BIC
ARIMA (1,1,1)	$\phi_1 = 0,1650$ $\theta_1 = 0,3440$	1.148,5850	1.156,4660
ARIMA (2,1,2)	$\phi_1 = 0,1460$ $\phi_2 = 0,3580$ $\theta_1 = 0,1440$ $\theta_2 = 0,0060$	1.147,3120	1.159,1340
ARIMA (0,1,2)	$\theta_1 = 0,5510$ $\theta_2 = 0,0000$	1.145,8470	1.153,7280
ARIMA (0,1,3)	$\theta_1 = 0,3820$ $\theta_2 = 0,0100$ $\theta_3 = 0,0850$	1.144,7890	1.154,6410

**Quadro 1** - Modelos ARIMA (p,d,q) estimados para a série temporal das emissões de CO2 (kt) no Brasil

Fonte: Elaboração própria (2017).

O coeficiente estimado,  $\theta_2$ , apresenta alta significância e o BIC é menor do que o do modelo ARIMA (0,1,3). Mesmo o AIC do modelo ARIMA (0,1,2) sendo maior do que o do modelo ARIMA (0,1,3), considera-se o modelo ARIMA (0,1,2) melhor visto que entre os dois critérios de informação, o BIC é consistente assintoticamente e tende a escolher um modelo mais parcimonioso do que o AIC, tendo como referência o princípio da parcimônia. Além disso,  $\theta_3$  é não significativo para um nível de significância de 5,00%.

A equação representativa do modelo ARIMA (0,1,2) encontrado para a série temporal das emissões de CO2 (kt) do Brasil é:  $DCO_{2t} = 8.748,5630 + 0,4291\varepsilon_{t-2} + \varepsilon_t$ , com  $\sigma_{\varepsilon\varepsilon} = 11.065,890$ , sendo  $\sigma_{\varepsilon\varepsilon}$  o desvio padrão do termo de ruído branco estimado ( $\varepsilon_t$ ). Esse modelo, conforme os critérios penalizadores AIC e BIC, é o que melhor representa a série no sentido de proporcionar uma boa previsão.

Com base no modelo estimado, pode-se inferir que as emissões de CO2 (kt) no Brasil dependem de  $\varepsilon_{t-2}$ , com um fator de influência positivo das inovações passadas, sendo esse o mecanismo gerador da série. Depreende-se disso que

a série temporal em observação está imediatamente associada aos erros do modelo, como em qualquer outro processo de média móvel, tendo maior peso  $\varepsilon_{t-2}$ . Nesse processo, os valores da série são construídos a partir de uma soma ponderada dos valores mais recentes do erro,  $\varepsilon_t$ .

Outro aspecto importante na análise consiste em verificar se os resíduos do modelo seguem um formato de ruído branco. Isso implica observar se esses resíduos possuem determinadas características, como ausência de memória, homocedasticidade e distribuição normal.

Analisando-se o correlograma dos resíduos, verificam-se algumas observações significativas na função de autocorrelação parcial (FACP) e nenhuma na função de autocorrelação (FAC). Desse modo, pode-se considerar que os resíduos são livres de memória. Isso é confirmado pelo Teste de Ljung-Box, em que os altos p-valores para a estatística Q que consta no correlograma, indicam que os resíduos não estão serialmente correlacionados. Esse resultado corrobora com o do Teste de Breusch Godfrey, em que se aceita a hipótese nula de inexistência de autocorrelação dos resíduos do modelo estimado (p-valor = 0,5002) (Tabela 2).

**Tabela 2** - Diagnóstico dos resíduos gerados pelo modelo ARIMA (0,1,2)

	Testes			
	Breusch Godfrey	ARCH LM	Jarque Bera	Bartlett
Estatística do Teste	0,4550	23,0090	4,2400	0,6700
p-valor	0,5002	0,5193	0,1200	0,7526

Fonte: Elaboração própria (2017).

Com 24 lags atribuídas para o teste ARCH LM, evidencia-se que o modelo é homocedástico (p-valor = 0,5193), isto é, livre de efeito ARCH (Tabela 2). Pelo teste Jarque Bera, tem-se que os momentos da série estimada são iguais aos da distribuição normal (p-valor = 0,1200) (Tabela 2). O Teste Bartlett indica que os resíduos do modelo estimado seguem um formato de ruído branco (p-valor = 0,7526) (Tabela 2).

Esse modelo, portanto, é capaz de fornecer previsões adequadas sobre o comportamento futuro da série temporal de emissões de CO<sub>2</sub> (kt) no Brasil. Isso é importante do ponto de vista do planejamento de políticas públicas ambientais pois permite analisar o comportamento histórico das emissões. Com base nisso, é possível formular ações estratégicas para o atingimento das metas de redução das emissões de GEE assumidas pelo Brasil na COP-15. Assim, tem-se informações importantes para promover uma conciliação entre as esferas econômica, social e ambiental reduzindo as externalidades negativas decursivas do processo produtivo.

Uma vez que o aquecimento global consiste em um problema de âmbito mundial, é necessário envolver os diversos países na busca por medidas de mitigação e de adaptação. Estudos sobre os efeitos das políticas climáticas sobre o crescimento econômico e o bem-estar social, mostram que um cenário de política climática global é eficaz para viabilizar a mitigação dos GEE no Brasil, reduzindo significativamente as emissões de CO<sub>2</sub> (SOUSA *et al.*, 2017). Isso se mostra particularmente importante uma vez que, entre os fatores antrópicos, a queima de combustíveis fósseis

consiste na principal causa das emissões, conduzindo a um trade-off entre preservar o meio ambiente e manter o crescimento econômico (SOUSA *et al.*, 2017).

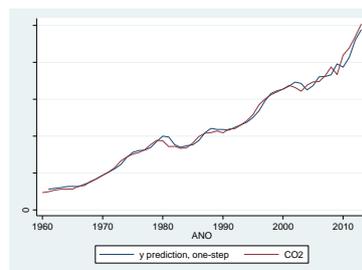
Há evidências de que existe uma relação de longo prazo e de causalidade simultânea entre as variáveis PIB per capita e emissão de CO<sub>2</sub> no Brasil (CUNHA; SCALCO, 2013). Depreende-se disso que o crescimento econômico é capaz de aumentar a emissão de GEE no país (CUNHA; SCALCO, 2013).

Isso pode estar relacionando à necessidade de ampliar o consumo de energia para a utilização em processos industriais e/ou para o consumo das famílias. No entanto, é preciso considerar que todos os setores da economia podem ter as suas participações elevadas/reduzidas em cenários de crescimento ou de retração da atividade econômica como resposta às dinâmicas produtivas condicionadas ao mecanismo de mercado.

### Previsão *in-sample* das emissões de CO<sub>2</sub> (kt) no Brasil de 1960 até 2013

Identificado o modelo que melhor descreve o comportamento da série temporal das emissões de CO<sub>2</sub> (kt) no Brasil e realizado o diagnóstico dos resíduos, pode-se agora fazer previsões para essas emissões. Tal procedimento pode ser empreendido por meio de duas abordagens. Uma delas é realizar a previsão de valores dentro da amostra (*in-sample*), e a outra consiste em efetuar a previsão de valores fora da amostra (*out-of-sample*). Nesse estudo, faz-se uso da previsão de valores *in-sample*.

Na previsão dentro da amostra, os valores são previstos em relação à variável em nível utilizada no modelo ARIMA e são calculados para o período da amostra. A previsão *in-sample* para as emissões de CO<sub>2</sub> (kt) no Brasil sugere que os valores previstos acompanham e aproximam-se consideravelmente dos valores reais, conforme pode se observar na Figura 3.



**Figura 3** - Previsão *in-sample* para as emissões de CO<sub>2</sub> (kt) no Brasil com base no modelo ARIMA (0,1,2)

Fonte: Elaboração própria (2017).

Conforme evidencia a Figura 3, os valores previstos estão substancialmente alinhados aos valores da série original. Isto é, traçando-se um gráfico sequencial da série original e da série de valores preditos, verifica-se que o comportamento dos valores previstos é consideravelmente parecido com o comportamento dos valores reais da série. Isso indica que a previsão realizada apresenta uma boa qualidade.

Após realizada a previsão para o modelo estimado, é importante avaliar o seu desempenho, ou seja, a qualidade dessa previsão. A Tabela 3 apresenta as principais medidas

indicadas para esse procedimento, como o erro médio (EM), o erro quadrático médio (MSE), o erro absoluto médio (MAE) e o erro absoluto percentual médio (MAPE).

**Tabela 3** - Diagnóstico dos resíduos da previsão *in-sample* para as emissões de CO<sub>2</sub> (kt) no Brasil com base no modelo ARIMA (0,1,2)

Medida de desempenho	Valor encontrado
Erro Médio	21,1700
Erro quadrático médio	11.075,9700
Erro absoluto médio	7.923,5300
Erro absoluto percentual médio	0,000674

Fonte: Elaboração própria (2017).

Considerando-se o crescimento observado nas emissões de CO<sub>2</sub> (kt) no Brasil, de 1960 até 2013, ressalta-se que conhecer o comportamento da série histórica de emissões permite, além de dimensionar a escala desse aumento, traçar ações estratégicas para mitigar esse quadro adverso e os problemas ambientais que isso desencadeia. No entanto, as medidas para reduzir as emissões devem ser implementadas e pensadas cuidadosamente, uma vez que grande parte dessas emissões é gerada pelo setor produtivo, elemento essencial para os processos de crescimento e de desenvolvimento econômico nas economias de mercado.

Não se pode negligenciar que as atividades econômicas são responsáveis por um alto nível de consumo de energia e por uma parte elevada de emissão de gases poluentes. Estudos recentes apontam para a existência de evidências claras de que a energia renovável exerce um efeito negativo sobre as emissões de CO<sub>2</sub> com impacto crescente no longo prazo, sendo também um substituto eficiente para a energia convencional (ZOUNDI, 2017). Depreende-se disso que processos inovativos, como os aplicados na produção de energias renováveis, constituem um elemento importante para mitigar o passivo ambiental global.

Com efeito, considera-se que a estratégia adequada para fazer frente ao aumento de emissões de GEE no Brasil e para reduzir os impactos negativos gerados, fundamenta-se na inovação. Nesse contexto, enfatiza-se o papel desempenhado pelo Fundo Nacional de Mudanças do Clima, que consiste em um instrumento chave da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) instituída em 2009. Esse fundo busca financiar projetos, estudos e empreendimentos que visem à mitigação (ou seja, à redução dos impactos) da mudança do clima e à adaptação aos seus efeitos (CEPAL, 2016). Além disso, é de natureza contábil, está vinculado ao Ministério do Meio Ambiente e objetiva viabilizar ações inovadoras e transformadoras de organizações públicas e privadas em adaptação e mitigação como instrumento de financiamento da PNMC (CEPAL, 2016).

No que tange a esse estudo, conhecer o mecanismo gerador da série de emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil, sendo ela explicada pelos seus valores passados, é importante para que se possa observar a dinâmica dessas emissões no longo prazo. Com base nisso, pode-se realizar incursões em elementos específicos que possibilitem a sua redução sem, contudo, comprometer os níveis de produtividade da economia.

Para tanto, acredita-se que as políticas ambientais de mitigação e de adaptação devem ser implementadas em um contexto de desenvolvimento e de difusão tecnológica. A ênfase na inovação não apenas em produtos, mas também em

processos produtivos, permitiria que o objetivo maior, o de coadunar produtividade e sustentabilidade visando alavancar o desenvolvimento sustentável, fosse alcançado. Isso se dá em vista de que parte considerável das emissões de GEE são oriundas das atividades produtivas realizadas no sistema, assumindo um caráter substancial para o progresso econômico.

Com uma matriz energética fundamentada, principalmente, em fontes hidráulicas e biocombustíveis, há condições propícias para que o Brasil possa manter uma economia com baixa emissão carbono (OCDE, 2016). Ademais, baixo carbono é a expressão de ordem para a economia do século XXI e significa inovar em processos produtivos e soluções tecnológicas capazes de resultar em menor impacto sobre o clima do planeta, com destaque para a busca de eficiência e alternativas energéticas, redução de emissões e gestão em sustentabilidade (CENTRO DE ESTUDOS EM SUSTENTABILIDADE - GVCES, 2017). Acredita-se que a inovação, portanto, desempenha um papel indispensável no processo de redução das emissões de CO<sub>2</sub> e demais GEE no Brasil, configurando como um elemento essencial para a mitigação dos impactos ambientais negativos no planeta.

Uma alternativa para incentivar a redução das emissões de GEE decursivas das atividades produtivas, seria o estímulo a uma economia de baixo teor de carbono. No que concerne ao universo empresarial, a ênfase nas operações de baixo carbono permite gerar externalidades positivas beneficiando os indivíduos distribuídos ao longo da cadeia de valor de uma organização (SCHULZ, 2018). As empresas podem adequar-se a esse novo paradigma produtivo investindo no desenvolvimento de produtos de baixo carbono, em processos de produção de baixo carbono e em atividades logísticas de baixo carbono (SCHULZ, 2018).

A descarbonização da economia por meio do incentivo às práticas produtivas de baixo carbono, consiste em um instrumento capaz de possibilitar a mitigação do passivo ambiental gerado pelo processo de crescimento econômico. As formas tradicionais de produção e de consumo, sobretudo àquelas inauguradas com o advento da Revolução Industrial, consolidaram-se e tornaram as sociedades dependentes das facilidades por elas proporcionadas.

Essa trajetória tecnológica, uma vez que se mostra insegura do ponto de vista ambiental, tem sido cada vez mais contestada. Nesse cenário, a importância da economia de baixo carbono é amplificada, requerendo envidar esforços para estimular e consolidar as tecnologias de produção sustentáveis, visando à redução dos efeitos adversos decursivos das atividades de produção.

Incursões específicas adequadas à realidade de cada setor produtivo, como os incentivos à agricultura de baixo carbono e às energias limpas, devem conduzir um processo de transformação produtiva capaz de reduzir as externalidades negativas causadas pela dinâmica do crescimento econômico. Essa mudança de paradigma produtivo possibilitaria coadunar o progresso econômico, a preservação do meio ambiente e a progressão social, satisfazendo, assim, os três pilares do desenvolvimento sustentável.

## Considerações finais

Esse estudo teve como objetivo analisar as emissões de

CO<sub>2</sub> (kt) no Brasil, de 1960 até 2013, por meio da metodologia de Box & Jenkins e realizar uma previsão *in-sample* para essa série histórica. Observou-se que as emissões de CO<sub>2</sub> (kt) cresceram consideravelmente no país durante o período abordado. Modelando a série, encontrou-se como melhor modelo explicativo um ARIMA (0,1,2), sendo a série temporal I(1), uma vez que realizou-se uma diferença para torná-la estacionária. É importante salientar que no modelo estimado, apenas o segundo parâmetro de médias móveis apresentou significância estatística. Na análise dos resíduos do modelo, verificou-se que os mesmos seguem um formato de ruído branco, sem memória, homocedásticos e normalmente distribuídos.

A principal contribuição desse estudo consiste em apresentar a dinâmica do comportamento da série temporal de emissões de CO<sub>2</sub> (kt) no Brasil no longo prazo, mostrando o seu mecanismo gerador. Isso permite dimensionar a escala em que as emissões crescem no país visando incursões em elementos específicos que possibilitem ações de mitigação e de adaptação. Nesse sentido, sugere-se que as estratégias para reduzir as emissões sejam acompanhadas pela adoção de tecnologias limpas, visando uma produção mais limpa sem comprometer a produtividade do sistema econômico.

No âmbito da academia, o estudo contribui para a produção científica sobre a economia de baixo carbono, cada vez mais importante pela necessidade de incentivar um novo paradigma produtivo capaz de coadunar crescimento econômico, preservação ambiental e equidade social. Assim, abre espaço para pesquisas futuras sobre as atividades de baixo carbono nos diversos setores produtivos, como a agricultura de baixo carbono, a produção de energias limpas, os investimentos socialmente responsáveis que inserem essa temática no mercado financeiro, além de outros campos vinculados à sustentabilidade.

Dentre as limitações da pesquisa, pode-se citar a série temporal com poucas observações disponíveis para a análise. Ressalta-se que a aplicação da metodologia de Box & Jenkins requer que o tamanho mínimo da série em estudo seja de 50 observações. A série utilizada atende a esse requisito, no entanto, resultados mais interessantes do ponto de vista estatístico poderiam ser encontrados caso o número de observações fosse maior, utilizando-se, por exemplo, dados mensais sobre as emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil. Entretanto, ressalta-se que muitas vezes o pesquisador encontra-se condicionado a trabalhar com os dados disponíveis.

Em vista da relevância do assunto, sugere-se como tema para pesquisas futuras estudar a relação existente entre as emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil e o produto da economia, relacionando a Curva de Kuznetz. Isso possibilitaria um entendimento profícuo sobre como essas variáveis se relacionam ao longo do tempo e qual a influência de uma sobre a outra. Verificar como as emissões se comportaram em períodos de crescimento econômico ou de recessão econômica pode ser útil, por exemplo, para o delineamento de políticas ambientais de combate a fatores que empobrecem a qualidade do meio ambiente.

Ademais, considera-se importante que as medidas mitigatórias não se limitem apenas a mecanismos regulatórios, como as taxas sobre a emissão de poluentes, por exemplo. Defende-se que se faça uso da inovação como um elemento potencializador no que concerne à redução das

emissões, à produção mais limpa e ao alcance do desenvolvimento sustentável.

## Referências

- ABREU, M. C. S. de; ALBUQUERQUE, A. M.; FREITAS, A. R. P. de. (2014). *Posicionamento estratégico em resposta às restrições regulatórias de emissões de gases do efeito estufa*. R. Adm., São Paulo, v.49, n.3, p.578-590, jul./ago./set. 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA NUCLEAR. (2016). *Energia na América do Sul*. Disponível em: <<http://www.aben.com.br/Arquivos/483/483.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2017.
- ARAS, G.; CROWTHER, D. (2013). *Sustainable practice: the real triple bottom line*. Developments in Corporate Governance and Responsibility, v.5, p.1-18.
- ARNOLD, M. (2017). *Fostering sustainability by linking co-creation and relationship management concepts*. Journal of Cleaner Production, v.140, p.179-188.
- AZEVEDO, E. de; PELICIONI, M. C. F. (2011). *Promoção da saúde, sustentabilidade e agroecologia: uma discussão intersectorial*. Saúde e Sociedade, São Paulo, v.20, n.3, p.715-729.
- BARBIERI, J. C.; VASCONCELOS, I. F. G. de; ANDREASSI, T.; VASCONCELOS, F. C. de. (2010). *Inovação e sustentabilidade: novos modelos e proposições*. RAE, São Paulo, v.50, n.2, p.146-154, abr./jun.
- BENGOCHEA-MORANCHO, A.; HIGÓN-TAMARIT, F.; MARTÍNEZ-ZARZOSO, I. (2001). *Economic growth and CO<sub>2</sub> emissions in the European Union*. Environmental and Resource Economics, v.19, n.2, p.165-172.
- BUENO, R. L. S. (2011). *Econometria de Séries Temporais*. 2 Ed. São Paulo: Cengage Learning.
- CARVALHO, T. S.; PEROBELLI, F. S. (2009). *Avaliação da intensidade de emissões de CO<sub>2</sub> setoriais e na estrutura de exportações: um modelo inter-regional de insumo-produto São Paulo/restante do Brasil*. Economia Aplicada, São Paulo, v.13, n.1, p. 99-124, jan./mar.
- CAVALCANTI, C. (2010). *Concepções da economia ecológica: suas relações com a economia dominante e a economia ambiental*. Estudos Avançados, 24(68), p.53-67.
- CENTRO DE ESTUDOS EM SUSTENTABILIDADE. (2017). *Economia de Baixo Carbono*. Disponível em: <<http://eventos.gvces.com.br/index.php?r=site/conteudo&id=157>>. Acesso em 14 jun. 2017.
- COMISSÃO ECONÔMICA PARA A AMÉRICA LATINA E O CARIBE. (2017). *Avaliação do Fundo Clima*. Disponível em: <[http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/170126\\_livro\\_s1601337\\_pt.pdf](http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/170126_livro_s1601337_pt.pdf)>. Acesso em 14 jun. 2017.
- CORREA-MACANA, E.; COMIM, F. (2013). *Mudança climática e desenvolvimento humano: uma análise baseada na Abordagem das Capacitações de Amartya Sen*. Economia, Sociedad y Territorio, v.XIII, n.43, p.577-618.

- CUNHA, C. A.; SCALCO, P. R. (2013). *Crescimento econômico brasileiro e emissão de CO<sub>2</sub>*. REDES, Santa Cruz do Sul, v.18, n.2, p.214-230, mai./ago. 2013.
- GODOY, S. G. M. de. (2013). *Projetos de redução de emissões de gases de efeito estufa: desempenho e custos de transação*. R. Adm., São Paulo, v.48, n.2, p.310-326, abr./maio/jun.
- HEDIGER, W. (1999). *Reconciling “weak” and “strong” sustainability*. International Journal of Social Economics, v.26, n.7/8/9, p.1120-1143.
- HILGEMBERG, E. M.; GUILHOTO, J. J. M. G. (2006). *Uso de combustíveis e emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil: um modelo inter-regional de insumo-produto*. Nova Economia, Belo Horizonte, 16(1), p.49-99, jan./abr.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. (2015). *Climate Change 2014 - Mitigation of Climate Change: Summary for Policymakers - Technical Summary*. 141 p. Disponível em: <[http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/WGIIIAR5\\_SPM\\_TS\\_Volume.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/WGIIIAR5_SPM_TS_Volume.pdf)>. Acesso em: 27 set. 2017.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Disponível em: <[https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr\\_full\\_report.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_full_report.pdf)>. Acesso em: 20 abr. 2017.
- LEAL, R. A.; ELY, R. A.; UHR, J. G. Z.; UHR, D. A. P. (2015). *Ciclos econômicos e emissão de CO<sub>2</sub> no Brasil: uma análise dinâmica para políticas ambientais ótimas*. RBE, Rio de Janeiro, v.69, n.1, p.53-73, jan./mar.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. (2017). *Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC)*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas>>. Acesso em: 01 jun. 2017.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. (2017). *Acordo de Paris*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>>. Acesso em: 22 jun. 2017.
- RONALDO SEROA DA MOTTA, R. S. DA; HARGRAVE, J.; LUEDEMANN, G.; GUTIERREZ, M. B. S. Introdução. In: RONALDO SEROA DA MOTTA, R. S. DA; HARGRAVE, J.; LUEDEMANN, G.; GUTIERREZ, M. B. S. (Org.). (2011). *Mudança do clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios*. Brasília, IPEA.
- NASCIMENTO, E. P. do. (2012). *Trajetória da sustentabilidade: do ambiental ao social, do social ao econômico*. Estudos Avançados, v.26, n.74, p. 51-64.
- OLIVEIRA, L. L. S. de; PORTO JÚNIOR, S. S. (2007). *O desenvolvimento sustentável e a contribuição dos recursos naturais para o crescimento econômico*. Revista Econômica do Nordeste, Fortaleza, v.38, n.1, p.103-119, jan./mar.
- ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO-OCDE. (2015). *Avaliações de Desempenho Ambiental: Brasil 2015*. Disponível em: <[http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40895/1/S1700018\\_pt.pdf](http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40895/1/S1700018_pt.pdf)>. Acesso em: 14 jun. 2017.
- PINTO, L. J. L. B.; SILVA, F. da; PINTO, F. R.; PINTO, F. J. L. C. (2017). *Sustentabilidade dos recursos hídricos: a perspectiva da política de gestão em uma universidade pública no Estado do Ceará*. REUNIR: Revista de Administração, Ciências Contábeis e Sustentabilidade, v.7, n.1, p. 34-48, jan./abr.
- ROMEIRO, V.; PARENTE, V. (2011). *Regulação das mudanças climáticas no Brasil e o papel dos governos subnacionais*. In: MOTTA, R. S. da. (Org.). *Mudança do clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios*. Brasília, IPEA, cap. 2.
- SCHULZ, J. R. S. (2018). *Uma análise empírica do Índice Carbono Eficiente (ICO<sub>2</sub>) no mercado financeiro brasileiro*. 155p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- SMITH, M. L. (2015). *The origins of the sustainability concept: risk perception and resource management in early urban centers*. Climate Change, Culture, and Economics: Anthropological Investigations, v.35, p.215-238.
- SOUSA, L. V. C.; FERNANDES, E. A.; SILVA, E. H. da; JADER FERNANDES CIRINO, J. F. C. (2017). *Simulação de políticas climáticas e seus efeitos: uma análise dinâmica para o Brasil e países do Anexo I do Protocolo de Quioto*. Pesquisa e Planejamento Econômico, v.47, n.1, p.151-184, abr.
- TAYRA, F. (2006). *Capital natural e graus de sustentabilidade: visões de mundo e objetivos conflitantes*. Pensamento e Realidade, v.19, n.19, p.100-118.
- THE WORLD BANK. (2017). *CO<sub>2</sub> emissions (kt)*. Disponível em: <<http://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.KT?locations=BR>>. Acesso em: 05 abr. 2017.
- VEIGA, J. E. da. (2010). *Indicadores de sustentabilidade*. Estudos Avançados, 24(68), p.39-52.
- WERNER, L.; RIBEIRO, J. L. D. (2003). *Previsão de demanda: uma aplicação dos modelos Box-Jenkins na área de assistência técnica de computadores pessoais*. Gestão & Produção, v.10, n.1, p.47-67, abr.
- ZOUNDI, Z. (2017). *CO<sub>2</sub> emissions, renewable energy and the Environmental Kuznets Curve, a panel cointegration approach*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v.72, p.1067-1075.