

A INFLUÊNCIA DOS SETORES ECONÔMICOS NA EMISSÃO DE CO₂: UM ESTUDO NOS ESTADOS BRASILEIROS

THE INFLUENCE OF ECONOMIC SECTORS ON CO₂ EMISSIONS: A STUDY IN BRAZILIAN STATES

ÁREA TEMÁTICA: INOVAÇÃO, TECNOLOGIA E EMPREENDEDORISMO

Flavia Massuga, Universidade Estadual do Centro Oeste (UNICENTRO), Brasil, flavia.massuga@gmail.com

Simone Soares Mangoni, Universidade Estadual do Centro Oeste (UNICENTRO), Brasil,
simonesmangoni@gmail.com

Sérgio Luis Dias Doliveira, Universidade Estadual do Centro Oeste (UNICENTRO), Brasil, sldd@uol.com.br

Resumo

Emissões de gases efeito estufa (GEE), aquecimento global e mudanças climáticas são preocupações prementes na sociedade. Todos os setores econômicos demandam por produtos e serviços e suas atividades se relacionam às emissões de GEE, especialmente de dióxido de carbono (CO₂). A fim de compreender o comportamento dessas variáveis no Brasil, em um nível subnacional, este estudo tem como objetivo identificar a relação entre os setores econômicos e as emissões de CO₂ nos estados brasileiros. Metodologicamente trata-se de um estudo quantitativo com realização de testes de correlação. Considera-se como variável dependente a emissão de CO₂ mensurada a partir número de toneladas de CO₂ equivalente geradas em cada Unidade Federativa. As variáveis independentes, por sua vez, correspondem a participação em percentual dos setores primário, secundário e terciário no PIB do estado. Os resultados confirmam a relação entre a emissão de CO₂ e a participação do setor agropecuário e industrial na economia, ou seja, quanto maior é a participação do setor primário e secundário no PIB, maior tende a ser a emissão de CO₂. Por outro lado, foi identificada uma relação negativa entre emissão de CO₂ e o setor de serviços, sendo o setor terciário um setor que contribui para a redução das emissões.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Gases efeito estufa; Mudanças Climáticas; Atividades econômicas.

Abstract

Greenhouse gas (GHG) emissions, global warming and climate change are pressing concerns in society. All economic sectors demand products and services and their activities are related to GHG emissions, especially carbon dioxide (CO₂). In order to understand the behavior of these variables in Brazil, at a subnational level, this study aims to identify the relationship between economic sectors and CO₂ emissions in Brazilian states. Methodologically, it is a quantitative study with correlation tests. The dependent variable is the CO₂ emission measured from the number of tons of equivalent CO₂ generated in each Federative Unit. The independent variables, in turn, correspond to the percentage share of the primary, secondary and tertiary sectors in the state's GDP. The results confirm the relationship between CO₂ emission and the participation of the agricultural and industrial sector in the economy, that is, the greater the participation of the primary and secondary sector in the GDP, the greater the CO₂ emission tends to be. On the other hand, a negative relationship was identified between CO₂ emissions and the service sector, with the tertiary sector being a sector that contributes to the reduction of emissions.

Keywords: Sustainability; Greenhouse gases; Climate changes; Economic activities.

1. INTRODUÇÃO

Aumento da insegurança alimentar, acidificação dos oceanos, elevação do nível do mar, desertificação, mudanças climáticas, tempestades mais severas e impactos negativos de modo geral sobre o desenvolvimento social e econômico ocasionadas pelo aquecimento global são preocupações que englobam discussões internacionais na atualidade.

A maior consciência sobre a pressão exercida pelas atividades humanas sobre o ecossistema tem despertado esforços para mitigar as emissões de Gases Efeito Estufa (GEE) responsáveis pelo aquecimento global, especialmente o dióxido de carbono (CO₂) (Balsalobre-Lorente, Driha, Bekun & Osundina, 2019). No entanto, ainda não são visualizados resultados concretos e o efeito das emissões de GEE veem se tornando uma realidade premente (Appiah, Du & Poku, 2018).

Segundo dados da International Energy Agency (IEA, 2022), as emissões globais de CO₂ relacionadas à energia aumentaram 6% em 2021, chegando a 36,3 bilhões de toneladas. E, conforme o Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2021), as emissões mundiais de GEE somavam cerca de 58 bilhões de toneladas de carbono equivalente (MTCO_{2e}) em 2019. Ressalta-se que economias emergentes apresentam uma contribuição de carbono mais alta em comparação a outros países (Appiah et al., 2018). O Brasil, por exemplo, gerou cerca de 2,1 bilhões de toneladas em 2020, correspondendo a 3,5% das emissões globais (SEEG, 2021).

Há estimativas que dobrar a emissão de CO₂ na atmosfera pode causar um aumento de 3,8°C na temperatura média da superfície da Terra, gerando sérias consequências ambientais, sociais e econômicas (Al-Ghussain, 2018). Devido às preocupações, vários estudos buscaram analisar nos últimos anos fatores que explicam a evolução do CO₂, como crescimento econômico, consumo de energia renovável e não renovável, transporte, urbanização, entre outros (Aydogan & Vardar, 2019; Wang, Hao, Wang, Tang & Yuan, 2020).

Em todos os setores econômicos há uma crescente demanda por produtos e serviços que mantém as emissões globais, especialmente dado o crescimento das economias em todo o mundo (Lamb et al., 2021). Torna-se, portanto, interessante também compreender qual a influência dos setores econômicos na emissão de CO₂, especialmente em países em desenvolvimento como o Brasil.

Alguns estudos objetivaram efetuar essa relação. Alam (2015), por exemplo, buscou compreender o impacto do valor agregado dos setores primário, secundário e terciário nas emissões de CO₂ nos países do Sul da Ásia. He e Zhang (2018), de modo similar, objetivaram estudar a relação das emissões de carbono com os três setores econômicos na província de Henan, na China e Dong et al., (2020), avaliaram a relação entre as emissões de CO₂ com o setor agrícola, industrial, de transporte, varejo e hospedagem no mesmo país. Por sua vez, Appiah et al. (2018), de modo mais específico, centraram-se em observar a relação entre a produção agrícola (setor primário) e as emissões de dióxido de carbono em economias emergentes, denotando uma relação positiva.

A fim de compreender o comportamento dessas variáveis no Brasil, em um nível subnacional, este estudo tem como objetivo identificar a relação entre os setores econômicos e as emissões de CO₂ nos estados brasileiros. Para tanto, são utilizados os dados do SEEG (2021), que apresenta as estimativas de emissão de GEE segundo as diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), de modo alocado para os 26 estados e o Distrito Federal. Além disso, para as variáveis independentes que correspondem aos setores econômicos, é considerada a participação percentual setorial no Produto Interno Bruto (PIB) do estado, conforme dados apresentados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021).

Espera-se, a partir dessa investigação, elucidar a relação entre as variáveis de estudo e permitir a reflexão sobre prioridades políticas para reduzir as emissões de carbono e proporcionar o desenvolvimento de uma sociedade mais sustentável.

Na sequência encontra-se a revisão de literatura que dá suporte à pesquisa com a discussão sobre a emissão de GEE e mudanças climáticas e a relação entre as emissões de CO₂ e os setores econômicos, que auxiliam na geração das hipóteses de estudo. Posteriormente, se apresentam os procedimentos metodológicos, seguido pelos resultados e discussões e conclusões do estudo.

2. A EMISSÃO DE GASES EFEITO ESTUFA E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Pesquisas científicas realizadas ao longo do tempo e em várias regiões do globo terrestre apontam para a necessidade das discussões relacionadas à preservação ambiental e busca por soluções sustentáveis (IPCC, 2022; Al-Ghussain, 2018; Johnsson, Kjarstad & Rootzen, 2018; Perera, Nik, Chen, Scartezzini & Hong, 2020; Welsby, James, Pye & Ekins 2021). As emissões antropogênicas de gases efeito estufa, impulsionam as mudanças climáticas e refletem na capacidade de resiliência dos ecossistemas naturais. Especificamente, observa-se que as concentrações de dióxido de carbono estão acima dos últimos dois milhões de anos e a última década é considerada a mais quente dos últimos 125 mil anos (IPCC, 2022). Conforme mensurações realizadas ao longo do tempo observa-se que a concentração atmosférica de carbono aumentou de um valor pré-industrial de 280 partes por milhão (ppm) para 379 ppm em 2005 (IPCC, 2022). A curva de Keeling demonstra ainda que os valores ultrapassam a 400 ppm atualmente (Scripps Institution of Oceanography, 2022) (Ver Figura 01).

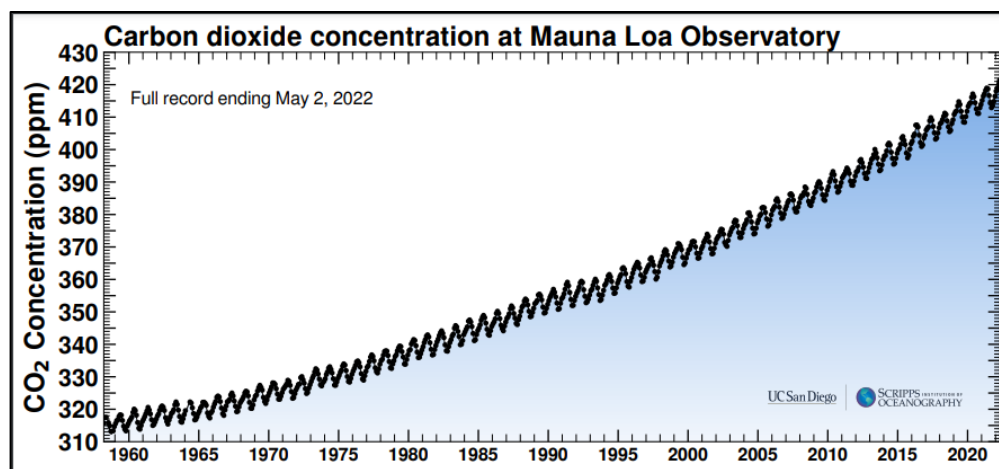


Figura 1 – Curva de Keeling – concentração de dióxido de carbono na atmosfera (1960-2020)
Fonte: Scripps Institution of Oceanography (2022).

Há causas naturais associadas a esse aumento, tais como variação da radiação solar e erupções vulcânicas. No entanto, estimativas de longo prazo retratam que a mudança na radiação solar é responsável por apenas 10% do aquecimento do século XX, enquanto que vulcões emitem em média 230 milhões de toneladas de dióxido de carbono em comparação a 26 bilhões de emissões anuais geradas pela humanidade (Al-Ghussain, 2018).

Esse aumento crescente nas emissões de carbono é, portanto, atribuído em grande parte ao desenvolvimento da economia mundial (Dong et al., 2020). Uma das principais fontes de emissão é o uso de combustível fóssil presente em quase todos os setores da economia (Waheed, Chang, Sarwar & Chen, 2018; Yoro & Daramola, 2020). De acordo com o IPCC (2022), os combustíveis fósseis utilizados para a produção de energia são um dos responsáveis pelo aumento na concentração de gases efeito estufa que resultam no aquecimento global. Estima-se que, se o mundo seguir o caminho de alto carbono, o aquecimento global poderá subir de 3,3 a

5,7°C acima dos níveis pré-industriais no final do século. Nos últimos três milhões de anos o mundo não experimentou um aquecimento maior do que 2,5°C (IPCC, 2022).

Efeitos dessas mudanças podem ser refletidos em vários aspectos da vida em sociedade (Dong et al., 2020). Vicedo-Cabrera et al. (2021), por exemplo, estimaram cargas de mortalidade associadas à exposição adicional de calor induzido pelo homem durante o período de 1991 a 2018. Os resultados denotam que 37% das mortes relacionadas ao calor da estação quente podem ser atribuídas às mudanças climáticas antropogênicas. Box et al. (2019) também denotaram uma correlação estatística significativa com a temperatura do ar e as mudanças em vários componentes do sistema ártico. Yoro e Daramola (2020), ao explorar esses impactos, comentam ainda sobre a influência negativa do aquecimento global na agricultura ocasionada pelas mudanças climáticas provocando aumento da insegurança alimentar, a acidificação dos oceanos, desertificação, aumento do nível do mar, tempestades e problemas de saúde.

Dados os impactos negativos, ao longo dos anos diversas ações foram estimuladas para minimizar as emissões de GEE, tais como o Protocolo de Kyoto em 1997, onde países se comprometeram com a redução do aquecimento global com a limitação das emissões de carbono, com grande ênfase nos países desenvolvidos; e o acordo de Paris em 2015 que buscou o apoio das nações para limitar o aumento da temperatura global a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais (Appiah et al., 2018; Yoro & Daramola, 2020; Mohammed et al., 2021; Lamb et al., 2021).

Dessa forma, observa-se que as emissões de GEE, especialmente de CO₂ são responsáveis pelo aquecimento global e mudanças climáticas que tem potencial de afetar aspectos econômicos, ambientais e sociais e dificultar o desenvolvimento da sociedade. Maior atenção a esses aspectos é necessária, bem como a compreensão da dinâmica de geração de CO₂ nas economias desenvolvidas e em desenvolvimento. A seguir aspectos que evidenciam a relação da emissão de CO₂ e os setores econômicos são elucidados e dão suporte à formulação das hipóteses de pesquisa.

3. A EMISSÃO DE CO₂ E OS SETORES ECONÔMICOS

Em todos os setores econômicos há uma demanda significativa por insumos que dão sustentação as emissões globais de GEE (Lamb et al., 2021). Conceitualmente, considera-se três setores econômicos, sendo o setor primário que engloba as atividades da agricultura, pecuária, caça, pesca e atividades extrativistas; setor secundário que se refere a indústria de transformação de bens; e o setor terciário que compreende as atividades de serviços em geral como transporte, comunicações, serviços financeiros, comércio por atacado e varejo, entre outros (Almeida, Silva & Melo, 2013; Alam, 2015).

Considerando o setor primário e as emissões de dióxido de carbono, denota-se que a agropecuária utiliza de energia como um dos insumos principais para a produção, especialmente fontes de energias não renováveis, tais como combustível fóssil, eletricidade e gás natural utilizadas em suas operações de forma direta como em máquinas e equipamentos e indiretas pelo uso de fertilizantes (Aydogan & Vardar, 2019). Pode-se ainda citar como outras fontes de emissão nesse setor o desmatamento, queimadas e emissões da pecuária (Balsalobre-Lorente et al., 2019).

Diversos estudos buscaram investigar a relação do setor primário com as emissões de CO₂ na atmosfera e o aquecimento global. Waheed et al. (2018), identificaram que a produção agrícola se relaciona de forma significativa com as emissões de CO₂ a longo prazo no Paquistão. Appiah et al. (2018), também constataram que um aumento de 1% na produção agrícola e pecuária, resultará em um acréscimo proporcional de 28% na emissão de CO₂, sendo mais prejudicial

nas economias emergentes que ainda tem forte dependência no setor primário. Por sua vez, ao analisar os países do E7, Aydogan e Vardar (2019), verificam uma relação positiva entre emissões de CO₂ e valor agregado agrícola no longo prazo.

De modo metodologicamente distinto, Balsalobre-Lorente et al. (2019), buscaram identificar a hipótese da curva de Kuznets ambiental para os países do BRICS, explorando os impactos da agricultura na emissão de carbono. Os resultados denotaram uma relação em forma de U invertido entre emissões de carbono e crescimento econômico e confirma o impacto negativo da agricultura sobre o meio ambiente dos países em desenvolvimento. Esses achados se relacionam à pesquisa de He e Zhang (2018) que analisaram as mudanças temporais e espaciais na emissão de carbono entre os anos de 2006 a 2015 na província de Henan na China. Os autores observaram que o setor primário denotou uma tendência de diminuição na emissão de carbono ao longo do tempo. Assim, infere-se que, à medida que países ou regiões se desenvolvem o setor primário tende a deixar de ser predominante e novas tecnologias podem estar disponíveis, contribuindo com a eficiência energética.

Resultados distintos também são evidenciados. Por exemplo, o estudo de Alam (2015), em países do Sul da Ásia constatou que o valor agregado da agricultura no PIB está negativamente relacionada com a emissão de CO₂. O mesmo foi identificado por Dong et al. (2020), ao analisar as proporções de valor agregado da agricultura na China.

Baseando-se na maioria dos achados que vinculam o setor primário à maiores emissões de GEE, apresenta-se a primeira hipótese do estudo:

H1: Há um efeito positivo do setor agropecuário/extrativista nas emissões de CO₂ dos estados brasileiros.

No que se refere ao setor industrial, os resultados são similares. Estima-se que a indústria é responsável pelo aumento do nível de emissões de carbono devido à rápida industrialização e urbanização e aumento da demanda por produtos manufaturados, especialmente em regiões em desenvolvimento (Yoro & Daramola, 2020; Lamb et al., 2021). De acordo com Lamb et al. (2021), as emissões industriais se relacionam especialmente à produção de metais, produtos químicos, cimento e demais produtos básicos requeridos na economia da sociedade contemporânea.

Os resultados do estudo de Mohammed et al. (2021), realizado na Hungria, apontam que o setor industrial é a principal fonte de CO₂ no país, contribuindo com 72% do total das emissões. Alam (2015) também denotou que o valor agregado da indústria no PIB de países do Sul da Ásia afeta significativamente as emissões de CO₂. Dong et al. (2020), de modo específico evidenciou que a indústria de construção está positivamente correlacionada com as emissões de carbono. Por sua vez, Li e Zhou (2019) obtiveram uma correlação positiva entre a taxa de emprego industrial com as emissões de carbono na China. Espera-se, portanto, que quanto maior o nível de atividade industrial em determinada região, maior tende a ser as emissões de CO₂.

H2: Há um efeito positivo do setor industrial nas emissões de CO₂ dos estados brasileiros.

Por fim, há a necessidade de vincular o setor de serviços com a emissão de carbono na atmosfera. Para Wang et al. (2020), o setor de serviços contribui de modo indireto com as emissões de carbono ao demandar uma série de bens materiais e recursos provenientes de outros setores. Em sua pesquisa, os autores observaram que o setor de serviços emitiu uma grande quantidade de CO₂ equivalente na China. Alam (2015), de modo similar, por meio de um estudo empírico nos países do Sul da Ásia observou que, com movimento de mudança do setor secundário para o terciário, não houve a diminuição nas emissões de CO₂, mas sim um aumento

na medida que a renda também aumenta, estando as emissões de CO2 positivamente relacionadas com o valor agregado dos serviços no PIB.

No entanto, diferentemente dos outros dois setores, observa-se que uma grande parte dos estudos encontrou uma relação negativa da participação do setor de serviços com a emissão de CO2, ou seja, quanto maior a contribuição do setor de serviços na economia, menor tende a ser a emissão de GEE. He e Zhang (2018), por exemplo, constataram com base em dados históricos da província de Henan (China), que o setor terciário apresentou uma tendência de declínio na emissão de carbono ao longo do tempo. Shan et al. (2017), também observaram em uma pesquisa realizada na China que cidades com mais atividades no setor de serviços apresentavam menor intensidade de emissão de CO2. Por sua vez, Liobikiene e Butkus (2021), evidenciaram que o setor de serviços funciona como uma força que reduz as emissões de GEE. Baseando-se nessa abordagem, pressupõe-se que:

H3: Há um efeito negativo do setor de serviços nas emissões de CO2 dos estados brasileiros.

Dessa forma, observa-se resultados heterogêneos considerando a emissão de dióxido de carbono e os setores avaliados, além de diferenças conforme realidades locais dado o nível de desenvolvimento econômico. Cabe, portanto, compreender como essas variáveis se comportam no contexto brasileiro, sob uma análise subnacional a partir dos dados estaduais.

4. METODOLOGIA

Este estudo possui uma abordagem quantitativa, visto que visa examinar a relação entre as variáveis a partir de procedimentos estatísticos com capacidade de replicação e generalização dos achados (Creswell, 2010). Também se caracteriza como um estudo descritivo e explicativo ao buscar descrever e explicar as relações e influências entre variáveis dependentes e independentes (Prodanov & Freitas, 2013).

Para operacionalização foram coletados dados secundários provenientes de fontes estatísticas, do Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Dessa forma, refere-se a um estudo documental, com utilização de materiais que ainda não receberam tratamento analítico e podem ser adaptados aos objetivos da pesquisa (Gil, 2008).

Para avaliar a relação entre a emissão de CO2 e os setores econômicos dos 26 estados brasileiros e o Distrito Federal, considera-se como variável dependente a emissão de CO2 mensurada com base nos dados de 2020 do número de toneladas de CO2 equivalente (CO2e (t) GWP-AR5) geradas em cada Unidade Federativa (SEEG, 2021). As variáveis independentes, por sua vez, correspondem a participação em percentual de cada setor (setor agropecuário/extrativista, setor industrial e setor de serviços) no PIB do estado, conforme dados disponíveis no Sistema de Contas Regionais referentes ao ano de 2019 e divulgados em 2021 pelo IBGE. No Quadro 1, a seguir, as variáveis de estudo estão apresentadas.

VARIÁVEIS		CÁLCULO	FONTE
Dependente	Emissão de CO2		Toneladas de CO2 equivalente (SEEG, 2021)
Independentes	H1	Setor Agropecuário/extrativista Participação (%) do PIB agropecuário no PIB total do estado.	(IBGE, 2021)
	H2	Setor industrial Participação (%) do PIB industrial no PIB total do estado.	(IBGE, 2021)
	H3	Setor de Serviços Participação (%) do PIB de serviços no PIB total do estado.	(IBGE, 2021)

Quadro 1 – Variáveis analisadas

Fonte: Elaboração própria.

A fim de caracterizar as variáveis selecionadas, os dados foram submetidos à estatística descritiva com análise da média, mediana, mínimo, máximo e desvio padrão. Para análise inferencial, foi aplicado inicialmente o teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Os resultados denotaram que os dados seguem uma distribuição não normal ($< 0,05$). Dada a não normalidade dos dados e o tamanho da amostra, para identificar a relação entre as variáveis foi realizado o teste de Correlação de *Spermann*. Para determinar a força de correlação foram considerados os valores estabelecidos pelo Departamento de Política da Universidade de Quinpiac, sendo: 1,0 – correlação perfeita; 0,7 a 0,9 – correlação muito forte; 0,4 a 0,6 – correlação forte; 0,3 – correlação moderada; 0,2 – correlação fraca; 0,1 – correlação insignificante; e 0 – correlação inexistente, para valores positivos ou negativos (Akoglu, 2018). O p-valor de $< 0,05$ foi considerado significativo (Ferreira & Patino, 2015). Na sequência, os resultados estão apresentados.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A fim de caracterizar os estados quanto às variáveis de estudo, na Tabela 1 e 2, a seguir, se apresenta a estatística descritiva.

Estados	VARIÁVEL DEPENDENTE	VARIÁVEIS INDEPENDENTES		
	Emissão de CO2 (toneladas)	Setor agropecuário (%)	Setor Industrial (%)	Setor de serviços (%)
Acre	59.662.486	7,5	7,2	85,3
Alagoas	8.178.057	17,8	12,1	70,1
Amazonas	123.977.936	5,5	36,4	58,1
Amapá	3.494.225	1,9	9,3	88,8
Bahia	84.617.245	6,8	21,8	71,4
Ceará	22.943.399	5,1	17,1	77,8
Distrito Federal	6.377.269	0,4	3,9	95,7
Espírito Santo	30.305.600	3,6	26,5	69,9
Goiás	85.891.307	11,4	21,2	67,4
Maranhão	85.007.334	8,7	17,3	74,0
Minas Gerais	151.196.206	4,6	27,1	68,3
Mato Grosso do Sul	61.878.513	17,1	21,5	61,4
Mato Grosso	239.415.562	21,4	16,3	62,3
Pará	416.987.095	9,2	34,3	56,5
Paraíba	11.011.429	3,6	15,4	81,0
Pernambuco	20.780.378	4,5	19,7	75,8
Piauí	19.393.532	8,0	12,3	79,7
Paraná	78.469.782	8,5	26,1	65,4
Rio de Janeiro	72.378.072	0,5	25,1	74,4
Rio Grande do Norte	8.991.991	4,2	18,4	77,4
Rondônia	125.777.874	13,9	16,5	69,6
Roraima	25.544.391	5,5	7,8	86,7
Rio Grande do Sul	84.344.223	8,6	22,5	68,9
Santa Catarina	49.243.353	5,7	26,6	67,7
Sergipe	8.738.957	5,1	19,7	75,2
São Paulo	141.749.890	1,7	20,3	78,0
Tocantins	52.601.485	14,2	11,9	73,9

Tabela 1 – Caracterização dos estados conforme variáveis do estudo

Fonte: Elaborado pelos autores

VARIÁVEL DEPENDENTE					
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio padrão
Emissão de CO2	76998429	59662486	3494225	416987095	88017282
VARIÁVEIS INDEPENDENTES					
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio padrão
Setor agropecuário (%)	8	6	0	21	5
Setor industrial (%)	19	20	4	36	8
Setor de serviços (%)	73	74	57	96	5

Tabela 2 – Estatística descritiva

Fonte: Elaborado pelos autores

Considerando a variável dependente, observa-se que Pará é o estado com a maior emissão de CO2 com mais de 416 milhões de toneladas lançadas na atmosfera. Já o Amapá apresenta o menor valor com emissão de cerca de 3,5 milhões de toneladas.

Em relação às variáveis independentes, denota-se que o setor de serviços é predominante em todos os estados. No entanto diferenças podem ser identificadas considerando variações percentuais. No que tange o setor agropecuário/extrativista, o Distrito Federal e Rio de Janeiro são os que têm a menor presença dessas atividades na composição do PIB, com 0,4 e 0,5%, respectivamente. Por outro lado, Mato Grosso obtém destaque com participação de 21% desse setor no PIB estadual. Os estados de Amazonas e Pará destacam-se no setor industrial, com uma participação de 36,4 e 34,3 respectivamente. Da mesma forma como no setor primário, o Distrito Federal possui a menor participação do setor industrial na composição do seu PIB (3,9%). Isso, por sua vez, lhe dá maior destaque para a participação em serviços com 95,7%, seguida dos estados de Amapá (88,8%) e Roraima (86,7%). Por fim, observa-se que em relação ao setor de serviços Pará e Amazonas são os estados com menor participação desse setor em seu PIB, com 56,5 e 58,1%, respectivamente.

A fim de compreender se as diferenças observadas quanto à participação dos setores de atividade nas economias estaduais estão relacionadas à emissão de CO2, na Tabela 3 a seguir são apresentados os resultados do teste de correlação.

	SETOR AGROPECUÁRIO (%)	SETOR INDUSTRIAL (%)	SETOR DE SERVIÇOS (%)
Emissão de CO2	r = 0,391 p = 0,043*	r = 0,548 p = 0,003*	r = -0,667 p = 0,000*

Tabela 3 – Correlações entre a emissão de CO2 e as atividades econômicas dos estados brasileiros

* p<0,05. Teste de correlação de *Spearman*

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os resultados demonstram que há diferença estatisticamente significativa para a relação entre a variável dependente e as variáveis independentes. Observa-se uma correlação moderada e positiva entre a emissão de CO2 e a participação do setor agropecuário na economia. Dessa forma, pressupõem-se que, quanto maior é a participação do setor primário no PIB, maior tende a ser a emissão de CO2 nos estados brasileiros.

Esses resultados corroboram os achados das pesquisas de Waheed et al. (2018), Appiah et al. (2018) e Aydogan e Vardar (2019) ao passo que concluem que uma maior emissão de dióxido de carbono está relacionada as operações realizadas na agricultura e que envolvem, por exemplo, a utilização de energia, especialmente não renovável. Também confirmam os aspectos aludidos nos estudos de Balsalobre-Lorente et al. (2019) e He e Zhang (2018) no sentido de que países em desenvolvimento tendem a apresentar impacto negativo da agricultura sobre o meio ambiente.

Essa pesquisa também evidenciou uma relação positiva e forte entre a participação do setor industrial e a emissão de CO2. A indústria é portanto visualizada como uma das grandes

responsáveis pelas emissões de carbono (Yoro & Daramola, 2020; Lamb et al., 2021). Os achados nos estados brasileiros acompanham os resultados também evidenciados na Hungria (Mohammed et al., 2021), nos países do Sul da Ásia (Alam, 2015), e na China (Li & Zhou, 2019; Dong et al., 2020).

Por fim, a variável participação do setor de serviços também apresenta influência estatisticamente significativa sobre a emissão de CO₂. Foi identificada uma relação forte e negativa entre as variáveis. Dessa forma, entende-se que quanto maior a participação do setor de serviços na economia estadual, menor tende a ser a emissão de dióxido de carbono. Assim, apesar de estudos indicarem a contribuição significativa do setor de serviços na emissão de GEE (Alam, 2015; Wang et al., 2020), os achados estão em consonância com as pesquisas de Shan et al. (2017), He e Zhang (2018) e Liobikiene e Butkus (2021), as quais apontaram que o setor terciário contribui com a redução nas emissões.

Na Tabela 4, a seguir, os resultados do teste das hipóteses estão apresentados.

Hipóteses	Sinal Esperado	Sinal obtido	Resultado
H1	+	+	Verificada
H2	+	+	Verificada
H3	-	-	Verificada

Tabela 4 – Síntese dos resultados encontrados

Fonte: Elaborado pelos autores

De um modo geral sugere-se que as indústrias e o setor agropecuário devem desenvolver tecnologias para mitigar os riscos e minimizar os efeitos do aquecimento global que se denota prejudicial a vários aspectos da vida em sociedade (Dong et al., 2020). Há a necessidade aumentar o consumo de energia renovável (Waheed et al., 2018). A eficiência energética proporcionada a partir de alta tecnologia, maiores regulações por parte do poder público (Balsalobre-Lorente, et al., 2019) e a modernização e otimização da estrutura industrial (Li & Zhou, 2019) também podem ser consideradas. Um exemplo são as tecnologias de captura de carbono (Johnsson et al., 2018). Por fim, o incentivo ao desenvolvimento do setor de serviços também se constitui como uma opção para reduzir as emissões de GEE (Liobikiene & Butkus, 2021).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo geral identificar a relação entre os setores primário, secundário e terciário da economia e as emissões de CO₂ nos 26 estados brasileiros e Distrito Federal. Para tanto, foi realizado um estudo quantitativo com testes de correlação considerando como variável dependente as toneladas de CO₂ equivalentes geradas em cada Unidade Federativa e como variáveis independentes a participação em percentual dos três setores no PIB estadual.

Os resultados apresentaram diferenças estatisticamente significativas para a relação entre a variável dependente e as variáveis independentes, confirmando as hipóteses do estudo. Dessa forma, pressupõem-se que quanto maior é a participação do setor primário e secundário na economia, maior tende a ser a emissão de CO₂ nos estados brasileiros. Por outro lado, foi identificada uma relação negativa entre emissão de CO₂ e o setor de serviços, ou seja, a maior participação do setor terciário na economia está relacionado a uma menor emissão de dióxido de carbono.

Essas descobertas têm importantes implicações políticas e podem auxiliar na reflexão de ações visando a redução de emissão de GEE e a busca por uma sociedade mais sustentável. Investimentos em tecnologias e soluções de captura de carbono, busca por maior eficiência energética e utilização de energia renovável são algumas das alternativas para setores

agropecuário e industrial melhorarem seu desempenho e contribuir com maior qualidade ambiental.

Como sugestões de pesquisas futuras, estimula-se a segmentação dos setores por atividades a fim de verificar a relação com as emissões de GEE de modo mais específico, bem como a replicação desse estudo com os municípios brasileiros. Além disso, uma análise temporal e comparativa das emissões de CO₂ em níveis subnacionais ou nacionais pode ser realizada, identificando similaridades e diferenças conforme contextos particulares e fatores associados.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- Akoglu, H. (2018). User's guide to correlation coefficients. *Turkish Journal of Emergency Medicine*, 18(3), 91-93. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tjem.2018.08.001>.
- Alam, J. (2015). Impact of Agriculture, Industry and Service Sector's Value Added in the GDP on CO₂ Emissions of Selected South Asian Countries. *World Review of Business Research*, 5(2), 39-59.
- Al-Ghussain, L. (2018). Global warming: review on driving forces and mitigation. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 38, 13-21. <http://dx.doi.org/10.1002/ep.13041>.
- Almeida, A. N., Silva, J. C. G. L., & Angelo, H. (2013). Importância dos setores primário, secundário e terciário para o desenvolvimento sustentável. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, 9(2), 146-162. <https://doi.org/10.54399/rbgdr.v9i1.874>.
- Appiah, K., Du, J., & Poku, J. (2018). Causal relationship between agricultural production and carbon dioxide emissions in selected emerging economies. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(25), 24764-24777. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-018-2523-z>.
- Aydogan, B., & Vardar, G. (2019). Evaluating the role of renewable energy, economic growth and agriculture on CO₂ emission in E7 countries. *International Journal of Sustainable Energy*, 39(4), 335-348. <http://dx.doi.org/10.1080/14786451.2019.1686380>.
- Balsalobre-Lorente, D., Driha, O. M.; Bekun, F. V., & Osundina, O. A. (2019). Do agricultural activities induce carbon emissions? The BRICS experience. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(24), 25218-25234. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-019-05737-3>.
- Box, J., Colgan, W. T., Christensen, T. R., Schmidt, N. M., Lund, M., Parmentier, F. W., Brown, R, Bhatt, U. S., [...], Olsen, M. S. (2019). Key indicators of Arctic climate change: 1971/2017. *Environmental Research Letters*, 14(4), 045010. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/aafc1b>.
- Creswell, J. W. (2010). *Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto*. Tradução de Magda França Lopes. 3. Ed. Porto Alegre: Artmed.
- Dong, B., Ma, X., Zhang, Z., Zhang, H., Chen, R., Song, Y., Shen, M., & Xiang, R. (2020). Carbon emissions, the industrial structure and economic growth: evidence from heterogeneous industries in China. *Environmental Pollution*, 262, 114322. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114322>.
- Ferreira, J. C., & Patino, C. M. (2015). *O que realmente significa o valor-p?* *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, 41(5), 485-485.
- Gil, A. C. (2008). *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6ed. São Paulo: Atlas.

- He, J., & Zhang, P. (2018). Evaluating the Coordination of Industrial-Economic Development Based on Anthropogenic Carbon Emissions in Henan Province, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(9), 1815. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph15091815>.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2021). *SCR – Sistema de Contas Regionais*. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9054-contas-regionais-do-brasil.html?=&t=resultados> (07 de julho de 2022).
- IEA – International Energy Agency. (2022). *Global Energy Review: CO2 Emissions in 2021*. <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-co2-emissions-in-2021-2> (7 de julho de 2022).
- IPCC - The Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Johnsson, F., Kjärstad, J., & Rootzén, J. (2018). The threat to climate change mitigation posed by the abundance of fossil fuels. *Climate Policy*, 19(2), 258-274. <http://dx.doi.org/10.1080/14693062.2018.1483885>.
- Lamb, W. F., Wiedmann, T., Pongratz, J., Andrew, R., Crippa, M., Olivier, J. G. J., Wiedenhofer, D., Mattioli, G. [...] Minx, J. (2021). A review of trends and drivers of greenhouse gas emissions by sector from 1990 to 2018. *Environmental Research Letters*, 16(7), 073005. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/abee4e>.
- Li, S., & Zhou, C. (2019). What are the impacts of demographic structure on CO2 emissions? A regional analysis in China via heterogeneous panel estimates. *Science of the Total Environment*, 650, 2021-2031. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.304>.
- Liobikiene, G., & Butkus, M. (2021). Determinants of greenhouse gas emissions: a new multiplicative approach analysing the impact of energy efficiency, renewable energy, and sector mix. *Journal of Cleaner Production*, 309, 127233. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127233>.
- Mohammed, S., Gill, A. R., Alsafadi, K., Hijadi, O., Yadav, K. K., Hasan, M. A., Khan, A. H., Islam, S., Cabral-Pinto, M. M. S., & Harsanyi, E. (2021). An overview of greenhouse gases emissions in Hungary. *Journal of Cleaner Production*, 314, 127865. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127865>.
- Perera, A. T. D., Nik, V. M., Chen, D., Scartezzini, J. L., & Hong, T. (2020). Quantifying the impacts of climate change and extreme climate events on energy systems. *Nat Energy*, 5, 150–159. <https://doi.org/10.1038/s41560-020-0558-0>
- Prodanov, C., & Freitas, E. C. (2013). *Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico*. 2ed. Novo Hamburgo: Universidade Feevale.
- Scripps Institution of Oceanography. *THE Keeling Curve*. 2022. <https://keelingcurve.ucsd.edu/pdf-downloads/> (03 de julho de 2022).
- Shan, Y., Guan, D., Liu, J., Mi, Z., Liu, Z., Liu, J., Schroeder, H., Cai, B., Chen, Y., & Shao, S. (2017) Methodology and applications of city level CO2 emission accounts in China. *Journal of Cleaner Production*, 161, 1215-1225. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.075>.
- SEEG - Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, Observatório do Clima. (2021). *Emissões por estado*. <https://plataforma.seeg.eco.br/map> (06 de julho de 2022).
- United Nations. (2015). *Adoption of the Paris Agreement*. <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf> (7 de julho de 2022).
- Vicedo-Cabrera, A. M., Scovronick, N., Sera, F., Royé, D., Schneider, R., Tobias, A., Astrom, C., Guo, Y., [...], Gasparrini, A. (2021). The burden of heat-related mortality attributable to recent human-induced climate change. *Nat. Clim. Chang*, 11, 492–500. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01058-x>

- Waheed, R., Chang, D., Sarwar, S., & Chen, W. (2018). Forest, agriculture, renewable energy, and CO2 emission. *Journal of Cleaner Production*, 172, 4231-4238. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.287>.
- Wang, R., Hao, J., Wang, C., Tang, X., & Yuan, X. (2020). Embodied CO2 emissions and efficiency of the service sector: evidence from china. *Journal of Cleaner Production*, 247, 119116. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119116>.
- Welsby, D., James, P., Pye, S., & Ekins, P. (2021). Unextractable fossil fuels in a 1.5 °C world. *Nature*, 597, 230–234. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03821-8>
- Yoro, K. O., & Daramola, M. O. (2020). CO2 emission sources, greenhouse gases, and the global warming effect. *Advances in Carbon Capture*, 3-28. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-819657-1.00001-3>.