

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUALIDADE AMBIENTAL

ANA CAROLINA TOMAZ DUARTE TOBARUELA ORTIZ

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ESTATÍSTICO DAS EMISSÕES  
DE CO<sub>2</sub> NO BRASIL

UBERLÂNDIA, MG

2022

ANA CAROLINA TOMAZ DUARTE TOBARUELA ORTIZ

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ESTATÍSTICO DAS  
EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> NO BRASIL**

Dissertação apresentada como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Ednaldo Carvalho Guimarães

UBERLÂNDIA, MG

2022

ANA CAROLINA TOMAZ DUARTE TOBARUELA ORTIZ

## **ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ESTATÍSTICO DAS EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> NO BRASIL**

Dissertação apresentada como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 28 de janeiro de 2022.

Prof. Dr. Ednaldo Carvalho Guimarães  
(Orientador) UFU

Prof. Dr. João Flávio Petrucci UFU

Prof. Dr. Euclides Antônio Pereira de Lima UNIUBE

Prof. Dr. Ednaldo Carvalho Guimarães  
FAMAT - UFU  
(Orientador)

UBERLÂNDIA, MG  
2022

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU  
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

O77 2022	<p>Ortiz, Ana Carolina Tomaz Duarte Tobaruela, 1984- Análise do comportamento estatístico das emissões de CO2 no Brasil [recurso eletrônico] / Ana Carolina Tomaz Duarte Tobaruela Ortiz. - 2022.</p> <p>Orientador: Ednaldo Carvalho Guimarães. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Qualidade Ambiental. Modo de acesso: Internet. Disponível em: <a href="http://doi.org/10.14393/ufu.di.2022.65">http://doi.org/10.14393/ufu.di.2022.65</a> Inclui bibliografia.</p> <p>1. Desenvolvimento sustentável. I. Guimarães, Ednaldo Carvalho, 1967-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Qualidade Ambiental. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 502.33</p>
-------------	---

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
 Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental  
 BR 050, Km 78, Bloco 1CCG, Sala 206 - Bairro Glória, Uberlândia-MG, CEP 38400-902  
 Telefone: (34) 2512-6717 - www.ppgmq.iciag.ufu.br - ppgmq@iciag.ufu.br



### ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Qualidade Ambiental (PPGMQ)				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 02/2022, PPGMQ				
Data:	28 de janeiro de 2022	Hora de início:	9:00	Hora de encerramento:	11:20
Matrícula da Discente:	12012MQA001				
Nome da Discente:	ANA CAROLINA TOMAZ DUARTE TOBARUELA ORTIZ				
Título do Trabalho:	ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ESTATÍSTICO DAS EMISSÕES DE CO <sub>2</sub> NO BRASIL				
Área de concentração:	Meio Ambiente e Qualidade Ambiental				
Linha de pesquisa:	Processos Ambientais				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Análises e modelagem estatística de dados para variáveis ambientais e agrícolas				

Reuniu-se por meio de web conferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental (PPGMQ), assim composta: Prof. Dr. Ednaldo Carvalho Guimarães (orientador da candidata); Prof. Dr. João Flávio da Silveira Petrucci (UFU); e Prof. Dr. Euclides Antônio Pereira de Lima (UNIUBE).

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa Prof. Dr. Ednaldo Carvalho Guimarães apresentou a Comissão Examinadora e a candidata, agradeceu a presença do público, e concedeu a Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação da Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir a candidata. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando a candidata:

Aprovada.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Ednaldo Carvalho Guimarães, Professor(a) do Magistério Superior**, em 28/01/2022, às 11:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Euclides Antônio Pereira de Lima, Usuário Externo**, em 28/01/2022, às 13:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **João Flávio da Silveira Petrucci, Professor(a) do Magistério Superior**, em 30/01/2022, às 12:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **3303590** e o código CRC **26385F85**.

**DEDICO,**

este mestrado ao meu esposo,  
companheiro e grande incentivador  
dos meus sonhos. Aos meus pais  
pelo apoio e suporte familiar  
incondicional e contínuo para que eu  
chegasse até aqui.

## AGRADECIMENTOS

Minha gratidão a Deus, por me iluminar, conceder-me saúde e disposição para cursar a pós-graduação, força e fé para seguir nos momentos difíceis.

Agradeço à minha família, que me apoiou para a concretização dessa pesquisa. Aos meus pais, Elias e Divina que sempre acreditaram no meu potencial. Ao meu esposo Pedro, pela compreensão, paciência, incentivo e apoio em todos os finais de semana dedicados aos estudos. À minha filha, Ana Luísa, pela paciência e amor incondicional, que sempre me motiva a trabalhar e estudar por um futuro melhor para todos nós, dando-me fé e esperança em um mundo melhor. Às minhas irmãs, Camila e Giovanna, pelo apoio incondicional e pela grande contribuição com as atividades escolares e de lazer da minha filha, especialmente nos momentos em que precisei intensificar minha dedicação aos estudos.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Ednaldo Carvalho Guimarães, pelo incentivo, orientação, presteza e empenho dedicados ao meu projeto de pesquisa, principalmente no desenvolvimento e utilização das ferramentas e técnicas estatísticas, e pelo compartilhamento dos conhecimentos, possibilitando-me um grande aprendizado.

Agradeço à professora Adriane pelo apoio, incentivo e contribuições para a escolha do tema do trabalho e pelos direcionamentos ao longo do curso.

Obrigada pela amizade e pelo apoio durante a pós-graduação, da Marília, Leidielen, Jordana, Franciele e Stheferson.

Muito obrigada aos professores doutores Samara Carbone, João Flávio Petrucci, Euclides Antônio Pereira de Lima e Patricia Soares por terem aceitado participar das minhas bancas de qualificação e defesa e pelas importantes contribuições para o desenvolvimento do trabalho e para o meu aprendizado.

Agradeço à Universidade Federal de Uberlândia (UFU), à Pró-reitora de Pesquisa e Pós Graduação (PROPP-UFU), ao Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG) e ao Programa de Pós Graduação em Qualidade Ambiental – UFU pelo incentivo à pesquisa e ao desenvolvimento sustentável e ambiental.

Agradeço à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo fomento, apoio financeiro e consolidação do programa de pós-graduação stricto sensu em qualidade Ambiental e demais programas no Brasil.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
2.1. GASES DE EFEITO ESTUFA.....	4
2.2. SETORES DE EMISSÃO DE GEE.....	6
2.3. ANÁLISE DE CLUSTER E ANÁLISE GEOESTATÍSTICA.....	8
2.4. PLATAFORMA SEEG.....	10
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	12
CAPÍTULO II: ANÁLISE DE CLUSTER APLICADA ÀS EMISSÕES DE CO <sub>2</sub> NO BRASIL.....	15
RESUMO.....	15
ABSTRACT.....	16
1. INTRODUÇÃO.....	17
2. METODOLOGIA.....	19
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
3.1. Análise de cluster das emissões totais.....	24
3.2. Análise de agrupamento dos setores da série histórica.....	25
3.3. Análise descritiva dos setores.....	26
3.4. Análise dos dados do IBGE.....	26
3.5. Análise da cobertura e uso da terra no país.....	28
3.6. Análise geral dos dados.....	29
4. CONCLUSÕES.....	30
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31
CAPÍTULO III: GEOESTATÍSTICA APLICADA ÀS EMISSÕES DE CO <sub>2</sub> NOS MUNICÍPIOS MINEIROS.....	34
RESUMO.....	34
GEOSTATISTICS APPLIED TO CO <sub>2</sub> EMISSIONS IN MUNICIPALITIES MINERS.....	35
ABSTRACT.....	35
1. INTRODUÇÃO.....	36
2. METODOLOGIA.....	38

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	39
4. CONCLUSÕES .....	47
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	48
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	50

## RESUMO

ORTIZ, A. C. T. D. T. **ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ESTATÍSTICO DAS EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> NO BRASIL**. 2022. 50p. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG.

O aquecimento global da Terra é uma preocupação mundial. As suas consequências de profundas alterações do clima poderão induzir à insustentabilidade de condições de vida na Terra. Muitos são os fatores apontados pela literatura pertinente, órgãos internacionais e acordos entre os países acerca das consequências do aquecimento global e que é necessário agir. As medidas necessárias à criação de estratégias e soluções da mudança do clima e do aquecimento global serão ambientalmente, socialmente e economicamente mais eficazes e relevantes se baseadas em estudos científicos e técnicos. O presente trabalho tem como base os dados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa e tem como objetivos aplicar ferramentas de análise multivariada de dados para descrever o comportamento da emissão de CO<sub>2</sub> no Brasil, considerando as principais atividades econômicas e os estados brasileiros; e utilizar as ferramentas da geoestatística de análise e modelagem de semivariogramas e interpolação por krigagem, para descrever a variabilidade espacial e confeccionar mapas da emissão de CO<sub>2</sub> no estado de Minas Gerais. Na análise multivariada foi utilizada a técnica de análise de agrupamento hierárquico com a distância euclidiana e critério de Ward considerando as unidades federativas como os objetos de agrupamento e as emissões de CO<sub>2</sub> por diferentes atividades econômicas como sendo as variáveis de agrupamento. A análise de cluster identificou quatro grupos de estados relacionados ao quantitativo das emissões de CO<sub>2</sub> do país, sendo o grupo composto pelos estados do Pará e Mato Grosso o que apresentou o maior volume de emissões no período analisado, de 1990 a 2019. Na análise geoestatística os semivariogramas foram utilizados para descrever o comportamento da variabilidade espacial da emissão de CO<sub>2</sub> nas cidades de Minas Gerais e a krigagem foi o método de interpolação a partir da qual foi gerado o mapa de emissões no estado, resultando na dependência espacial nas emissões com alcance prático de 1,86 e 3,00 graus, permitindo identificar graficamente as regiões do estado com as maiores emissões de CO<sub>2</sub>e. Espera-se que o estudo possa contribuir com a comunidade científica e a sociedade visando a promover conjuntamente programas e soluções para redução das emissões de gases causadores do efeito estufa e conseqüentemente promoverem a sustentabilidade e transformação ecológica das atividades econômicas, garantindo a redução da interferência humana maléfica no meio ambiente.

**Palavras-chave:** gases de efeito estufa; dióxido de carbono; atividades econômicas.

## ABSTRACT

ORTIZ, A. C. T. D. T. ANALYSIS OF THE STATISTICAL BEHAVIOR OF CO<sub>2</sub> EMISSIONS IN BRAZIL. 2022. 49p. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG.

The Earth's global warming is a global concern. It's consequences of profound climate changes could lead to unsustainable living conditions on Earth. There are many factors pointed out by the pertinent literature, international bodies, and agreements between countries about the consequences of global warming and that it is necessary to act. The necessary measures to create strategies and solutions for climate change and global warming will be environmentally, socially, and economically more effective and relevant if based on scientific and technical studies. This work is based on data from the Brazilian System of Estimates of Greenhouse Gas Emissions and Removals and aims to apply multivariate data analysis tools to describe the behavior of CO<sub>2</sub> emissions in Brazil, considering the main economic activities and the Brazilian states; and use geostatistics tools for analysis and modeling of semivariograms and interpolation by kriging, to describe the spatial variability and make maps of CO<sub>2</sub> emission in the state of Minas Gerais. In the multivariate analysis, the hierarchical cluster analysis technique was used with the Euclidean distance and Ward's criterion, considering the federative units as the cluster objects and CO<sub>2</sub> emissions from different economic activities as the cluster variables. The cluster analysis identified four groups of states related to the quantity of CO<sub>2</sub> emissions in the country, the group comprising the states of Pará and Mato Grosso having the highest volume of emissions in the period analyzed, from 1990 to 2019. In the geostatistical analysis, semivariograms were used to describe the behavior of the spatial variability of CO<sub>2</sub> emission in the cities of Minas Gerais and kriging was the interpolation method from which the emission map in the state was generated, resulting in the spatial dependence of emissions with a practical range of 1.86 and 3.00 degrees, and allowing to graphically identify the regions of the state with the highest CO<sub>2</sub>e emissions. It is expected that the study can contribute to the scientific community and society by jointly promoting programs and solutions to reduce greenhouse gas emissions and consequently promote the sustainability and ecological transformation of economic activities, ensuring the reduction of harmful human interference in the environment.

**Keywords:** greenhouse gas; carbon dioxide; economic activities.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUÇÃO

A intensificação do uso e da exploração dos recursos naturais após a Revolução Industrial ocasiona a emissão ascendente das emissões de gases de efeito estufa (GEE), o que está colocando em risco as condições favoráveis à sobrevivência de todos os seres vivos do planeta Terra.

A degradação do meio ambiente em grandes proporções vem atingindo massas populacionais de todas as parcelas da sociedade e é de extensão internacional. Vários problemas ambientais evocam quadros de perplexidade: depleção na camada de ozônio, aterros sanitários lotados, poluição sonora, dentre outros (SOUZA, 2014).

O crescimento econômico e populacional e o desenvolvimento e crescimento das indústrias e do setor agropecuário levam à conversão da vegetação nativa em diferentes formas de uso da terra e, indica a necessidade de conhecer e especificar as maiores fontes emissoras dos GEE. Também cabe ressaltar que se espera que as regiões e/ou estados com características econômicas diferentes contribuam de forma diferenciada com a emissão de CO<sub>2</sub> e, neste sentido, é possível classificá-los de acordo com o grau de emissão dos GEE.

O conhecimento da dinâmica da emissão dos GEE pode contribuir com um diagnóstico mais preciso para as tomadas de decisões mitigadoras do aquecimento global. É necessário que a ciência e os estudos sejam observados com mais compreensão, por todos nós. Cada um, independente da sua posição social e condição financeira pode colaborar para diminuir os danos ao meio ambiente.

A degradação ambiental ocorre a milhares de ano, sendo o desmatamento um dos principais degradadores, que remove completamente a floresta nativa, que é fonte de emissão de GEE que causam o aumento do aquecimento global.

A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, assinada pelo Brasil na RIO-92 trata do problema do efeito estufa, ou seja, do problema do aquecimento global, que consiste no aumento da temperatura média da superfície terrestre de 1° a 3,5° Celsius e aumento do nível médio do mar de 15 a 90 cm, previstos até 2100. O aumento da temperatura é decorrente do aumento da concentração na atmosfera dos GEE devido às atividades humanas (SOARES, 2004). Não foram detalhados e especificados pela Convenção sobre Mudança do Clima quais os níveis futuros das emissões. O que se consta é que os países do Anexo I devem estabelecer que os níveis de dióxido de carbono e de outros gases de efeito

estufa não controlados pelo Protocolo de Kyoto voltassem, individual ou conjuntamente, a seus níveis de 1990 (SOARES, 2004).

No Resumo para Formuladores de Políticas (SPM) – Sexto Relatório de Avaliação Mudança Climática 2021 - A base da ciência física (IPCC WG1- AR6), que é a versão aprovada na 14ª sessão do Grupo de Trabalho I e da 54ª Sessão do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) foram analisados vários cenários de emissões de GEE relacionados ao aumento de temperatura e a fatores de impacto climático, e em todos os cenários de emissões considerados o aquecimento global de 1,5°C será excedido no futuro próximo, entre 2021 a 2040. O aquecimento global de 1,5°C a 2°C será excedido até o final do século, caso não haja uma redução profunda das emissões de GEE (PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS - IPCC, 2021).

O Brasil é um dos 10 países que mais emitem de GEE do mundo, e no Acordo de Paris o seu compromisso e suas metas para frear o aquecimento global estão especificadas no Contribuições Nacionalmente Determinadas (sigla NDC, em inglês), onde se compromete a reduzir 43% de seu nível de emissão de 2005 até 2030 (ALBUQUERQUE et al.; 2020). E o país também firmou compromisso com outras duas metas de redução de gases de efeito estufa, ambas obrigatórias: a estabelecida na Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), em 2009, com reduções previstas para 2020; e a meta de redução de emissões para 2025, inscrita na NDC, de 2015, estabelecida voluntariamente, mas que se tornou obrigatória na promulgação do Acordo de Paris no Brasil, em junho de 2017. Pela NDC, o país se compromete a reduzir suas emissões líquidas em 37% até 2025 em relação aos níveis de 2005, o que totalizaria uma emissão máxima de 1,3 bilhão de toneladas líquidas de CO<sub>2</sub> equivalente (GtCO<sub>2</sub>e) naquele ano (ALBUQUERQUE et al.; 2020).

As mudanças climáticas compõem uma parte das questões que colocam a humanidade diante das chamadas fronteiras planetárias (planetary boundaries), termo proposto por Rockström *et al.* (2009) para compreender a problemática ambiental contemporânea numa perspectiva sistêmica, no sentido das interações entre os sistemas naturais e antrópicos (Souza et al.; 2017).

O CO<sub>2</sub> é um dos principais gases de efeito estufa emitidos globalmente e representa cerca de 81% das emissões, é capaz de manter-se por centenas de anos na atmosfera (Leite *et al.*; 2020). No presente trabalho foram utilizados os dados das estimativas das emissões do CO<sub>2</sub> em termos equivalentes de CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>e) usando valores de conversão GWP (Potencial de aquecimento global), seguindo os parâmetros de avaliação do IPCC. O CO<sub>2</sub> é um gás de

referência perante os outros GEE, com isso há a utilização da métrica CO<sub>2</sub> equivalente para expressar outros GEE em termos de CO<sub>2</sub>e, os índices são calculados com base no GWP do GEE e a taxa da força radioativa que resultaria das emissões de 1Kg de gás de efeito estufa que equivaleria a 1Kg de CO<sub>2</sub> dentro de um período (100 anos para este trabalho) (CEPEA, 2004).

O trabalho visa: analisar o comportamento das emissões de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e) no Brasil, agrupando as estimativas de emissões de GEE, com as atividades econômicas emissoras, utilizando as ferramentas da análise estatística multivariada de dados; descrever o comportamento espacial da emissão de CO<sub>2</sub>e, no Estado de Minas Gerais, utilizando as técnicas de análise de geoestatística.

As principais inovações desse estudo são: i) o agrupamento dos estados brasileiros, de acordo com a emissão de CO<sub>2</sub>e, no período de 1990 a 2019, em função das atividades econômicas definidas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima (IPCC); ii) a análise e modelagem da dependência espacial da emissão de CO<sub>2</sub>e em Minas Gerais que possibilitou a visualização espacial das emissões no estado, por meio do mapeamento das emissões.

Este trabalho foi desenvolvido no formato de capítulos. O capítulo I consistirá na Introdução geral sobre o estudo e no levantamento bibliográfico sobre o tema. O capítulo II é um artigo com aplicação da Análise de Cluster para os dados de emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil e nas unidades federativas para investigar o comportamento das emissões e apresentar o cenário no país. No capítulo III foram aplicadas as ferramentas de geoestatística de análise de semivariogramas e de interpolação por krigagem, para descrever o comportamento espacial da emissão de CO<sub>2</sub> e fazer o mapeamento das emissões no Estado de Minas Gerais.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. GASES DE EFEITO ESTUFA

Gases de efeito estufa significa os constituintes gasosos da atmosfera, naturais e antrópicos, que absorvem e reemitem radiação infravermelha (Brasil, 1998). Os principais gases que contribuem para o aumento do efeito estufa são: dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), clorofluorcarbono (CFC), ozônio ( $\text{O}_3$ ), hidrofluorcarbono (HFC), perfluorcarbono (PFC) e hexafluorsulfúrico ( $\text{SF}_6$ ).

O efeito estufa é um fenômeno natural que faz com que a temperatura da superfície da Terra seja favorável à existência de vida no planeta. Se ele não existisse, a temperatura média da superfície da Terra seria  $-18^\circ\text{C}$ , ao invés dos  $15^\circ\text{C}$  que temos hoje, ou seja,  $33^\circ\text{C}$  menor (INPE, 2020). Quando aumenta a concentração de gases na atmosfera (por exemplo, do gás carbônico), o efeito estufa fica mais intenso e, portanto, fica mais difícil o calor ir para o espaço. Essa diferença causa o aquecimento da baixa atmosfera, elevando a temperatura média da Terra e causando mudanças climáticas (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE, 2020).

O aumento das emissões de gases de efeito estufa devido às ações humanas em ritmo acelerado está ocasionando o aumento de temperatura do planeta, o que gera graves consequências para todos os seres vivos, incluindo o homem. O aquecimento global tem impactos profundos no planeta: extinção de espécies animais e vegetais, alteração na frequência e intensidade de chuvas (interferindo, por exemplo, na agricultura), elevação do nível do mar e intensificação de fenômenos meteorológicos (por exemplo: tempestades severas, inundações, vendavais, ondas de calor, secas prolongadas), entre outros (INPE, 2020). Essas conclusões foram obtidas após análise dos diversos cenários de emissões de GEE para os próximos 100 anos, feitas por cientistas do IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, órgão assessor das Nações Unidas para assuntos do clima (INPE, 2020).

Segundo o IPCC WG1- AR6 (2021), se essas emissões não diminuïrem, o aquecimento global poderá chegar muito provavelmente no período de 2021 a 2040 a  $1,9^\circ\text{C}$ , e até 2100 poderá chegar a  $5,7^\circ\text{C}$ . As mudanças no sistema climático já estão impactando as regiões habitadas do planeta com ondas de calor, fortes precipitações, secas agrícolas e ecológicas, ciclones tropicais, perda do gelo terrestre e muitas mudanças ocorridas devido às emissões passadas e futuras de GEE, que são irreversíveis por séculos (IPCC, 2021). Os

estudos comprovam que os últimos dez anos foram os mais quentes de vários séculos, cerca de 6.500 anos atrás. (IPCC, 2021).

O CO<sub>2</sub> é o gás que se apresenta em maior quantidade na atmosfera, sendo responsável por cerca de 60% do efeito estufa, cuja permanência na atmosfera é de centenas de anos. As principais fontes do dióxido de carbono são: queima de combustíveis fósseis (carvão mineral, petróleo, gás natural, turfa), alterações da cobertura e uso do solo, queimadas e desmatamentos, que destroem reservatórios naturais e sumidouros, que absorvem o CO<sub>2</sub> da atmosfera (PENNA, 1999).

A Tabela 1 apresenta o resumo dos principais gases que contribuem para o aumento do efeito estufa, o aumento da sua concentração desde 1750, a contribuição para o aquecimento global em percentual e suas fontes antropogênicas.

**Tabela 1** - Gases de efeito estufa, suas contribuições para o aquecimento global e principais fontes

<b>GEE</b>	<b>Aumento da concentração desde 1750</b>	<b>Contribuição para o aquecimento global (%)</b>	<b>Principais fontes de emissão</b>
CO <sub>2</sub>	149%	66%	Uso de combustíveis fósseis, desmatamento e alteração dos usos do solo
CH <sub>4</sub>	262%	16%	Produção e consumo de energia (incluindo biomassa), atividades agrícolas, pecuária, aterros sanitários e águas residuais
N <sub>2</sub> O	123%	7%	Uso de fertilizantes, produção de ácidos e queima de biomassa e combustíveis fósseis
Halogenados (HFC, PFC e SF <sub>6</sub> )	-	11%	Indústria química, refrigeração, aerossóis, propulsores, espumas expandidas e solventes

Fonte: Elaboração da autora, a partir dos dados do WMO, 2021

## **2.2 SETORES DE EMISSÃO DE GEE**

A revolução industrial mudou as relações entre o homem e a natureza. A principal consequência até agora parece ser a alteração na atmosfera da Terra. As atividades econômicas humanas mudaram o equilíbrio dos gases que formam a atmosfera, principalmente dos GEE, como o CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>. Na verdade, esses gases representam menos de 1% da atmosfera total, composta principalmente de oxigênio (21%) e nitrogênio (78%) (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB, 2020).

Os setores que foram analisados e associados às estimativas dos gases de efeito estufa são os classificados e que contêm estimativas de emissões na plataforma SEEG. Essa plataforma classifica cinco setores como fontes de emissão conforme previstos no Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima, IPCC: Agricultura, Energia, Processos Industriais e Uso de Produtos, Mudança no Uso da Terra e Florestas.

As estimativas do SEEG incluem as fontes de emissão de todos os setores e seus respectivos gases previstos nas Diretrizes 12 do IPCC e descritos por Azevedo et al. (2018), conforme segue:

**2.2.1 Agricultura.** Apresenta as estimativas de todas as emissões antropogênicas de sistemas agrícolas, ligados às atividades econômicas de culturas e produção animal: - CO<sub>2</sub>e (CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O) de solos de sistemas agrícolas, exceto para queima de combustível e emissões de esgoto, como segue: Emissões de CH<sub>4</sub> provenientes de: i) fermentação entérica de animais ruminantes, ii ) sistemas de manejo de dejetos animais e, iii) queima de resíduos vegetais; Emissões de N<sub>2</sub>O provenientes de: i) fertilizante de nitrogênio sintético e orgânico aplicado ao solo, ii) cultivo de solos orgânicos, iii) esterco animal depositado diretamente nas pastagens, iv) sistemas de manejo de esterco animal, v) decomposição de resíduos orgânicos e vi) queima de resíduos da lavoura.

**2.2.2 Mudança no uso do solo.** Apresenta as estimativas de emissões de gases de efeito estufa associadas à cobertura do solo e às mudanças do usuário mapeadas por dados de satélite, a atividade vinculada a este setor é a Agropecuária. Os principais níveis de emissões e remoções de CO<sub>2</sub> são pelas mudanças na cobertura da terra, e o nível de intensidade dessas emissões e remoções é demonstrado pelas mudanças no uso da terra. E são estimadas também as emissões de resíduos florestais queimados (CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O) e calagem.

**2.2.3 Energia.** Neste setor, as emissões ocorrem por meio de dois processos distintos: (i) queima de combustível e (ii) emissões fugitivas. As atividades econômicas associadas a este setor são de transportes de carga e passageiro, produção de combustíveis e geração de energia. O conteúdo de energia química do combustível é convertido em calor na combustão do combustível. Duas formas possíveis para esse calor são o consumo direto de equipamentos de uso final (fornos, aquecedores, secadores, etc.) e a conversão em energia mecânica ou elétrica (geração de eletricidade térmica e fontes móveis). Durante a combustão, o carbono (C) armazenado no combustível é oxidado e liberado como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Existem também emissões relativamente menores de outros gases resultantes (i) da combustão incompleta de combustível - metano (CH<sub>4</sub>), monóxido de carbono (CO) e compostos orgânicos voláteis não metânicos (NMVOCs) - e (ii) de nitrogênio (N<sub>2</sub>O) oxidação, proveniente principalmente do consumo de ar na combustão, em função da temperatura do processo - óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O).

Emissões fugitivas são liberações intencionais e não intencionais que ocorrem durante os processos de produção de carvão, petróleo e gás natural. Os gases CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O são inventariados nessa atividade. As emissões fugitivas estão relacionadas às atividades de extração, armazenamento, processamento e transporte de produtos de combustível.

**2.2.4 Processo industrial e uso do produto.** São estimadas para este setor as emissões de GEE ocorridas na transformação de materiais químicos ou físicos em atividades industriais das indústrias de cimento, metalurgia e uso de HFCs. Os gases inventariados são dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), monóxido de carbono (CO), compostos orgânicos voláteis não metano (NMVOC), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), perfluorocarbonos (CF<sub>4</sub> e C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>), hidrofluorocarbonos (HFC-23, HFC-32, HFC-125, HFC-134a, HFC-143a, HFC-152a e hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>)).

Os processos industriais e uso de produtos com estimativas de emissões são: (i) Produção de metal: produção de ferro-gusa e aço, ferroligas, alumínio, magnésio e outros metais não ferrosos; (ii) Produtos minerais: produção de cal, cimento e vidro e consumo de carbonato de sódio; (iii) Indústria química: ácido adípico, ácido fosfórico, ácido nítrico, acrilonitrila, amônia, caprolactama, carboneto de cálcio, cloreto de vinila, etileno, metanol, negro de fumo, óxido de etileno, coque de petróleo calcinado e outras produções petroquímicas; (iv) Emissões de hidrofluorocarbonos (HFCs); (v) uso de hexafluoreto de

enxofre (SF 6) em equipamentos elétricos; (vi) Produtos não energéticos provenientes do uso de combustíveis e solventes.

Não são contabilizadas neste setor as emissões de queima de combustível industrial e descarte de resíduos, que são contabilizadas nos setores de energia e resíduos, respectivamente.

**2.2.5 Desperdício.** Nesse setor são estimadas as emissões de GEE de resíduos sólidos e tratamento e descarte de efluentes, das atividades de Saneamento Básico: comercial, residencial e setor público. Não são contabilizadas nesse setor as emissões relacionadas aos resíduos gerados nas atividades agropecuárias, que são contabilizados no setor agrícola. Os GEEs emitidos e suas atividades correspondentes são: (i) emissões de CH<sub>4</sub> provenientes de resíduos sólidos dispostos em aterros ou depósitos de lixo e tratamento e descarte de efluentes industriais e domésticos; (ii) Emissões de N<sub>2</sub>O da incineração de resíduos clínicos e perigosos e tratamento e descarga de águas residuais domésticas; e (iii) emissões de CO<sub>2</sub> provenientes da incineração de resíduos clínicos e perigosos.

## **2.3 ANÁLISE DE CLUSTER E ANÁLISE GEOESTATÍSTICA**

### **2.3.1 Análise de Cluster**

A Análise de Cluster é um procedimento da Estatística Multivariada que visa agrupar um conjunto de dados em subgrupos homogêneos, chamados clusters; os dados podem ser objetos ou variáveis. Trata-se de uma técnica matemática que foi concebida com a finalidade de revelar estruturas de classificação nos dados recolhidos em fenômenos do mundo real (QUINTAL, 2006).

Os objetivos da Análise de Clusters são: (1) analisar a estrutura dos dados; (2) verificar/relacionar os aspectos dos dados entre si; (3) ajudar na concepção da classificação (QUINTAL, 2006).

A construção de uma medida de semelhança para cada grupo de variáveis, variáveis categorizadas e variáveis contínuas, efetuando análises de Clusters em separado, é uma abordagem ao caso de se ter, em estudo, variáveis de diferentes tipos (QUINTAL, 2006).

Se os resultados revelarem concordância significa que a estratégia atrás referida pode ser adotada, mas se for verificado o contrário, deve-se processar os dados conjuntamente para se realizar uma única Análise de Clusters (QUINTAL, 2006).

Rodrigues et al. (2012) aplicaram a Análise de Cluster para identificarem grupos de municípios que apresentaram prejuízos socioeconômicos e humanos similares, gerados pelos danos causados pelas inundações nos municípios do Rio Grande do Sul, no período de 2003 a 2009. A análise de Cluster identificou quatro grupos de municípios com prejuízos socioeconômicos e humanos homogêneos, devido à ocorrência de inundações no período estudado (RODRIGUES et al.; 2012).

Rosa et al. (2017) utilizaram a análise de Clusters para caracterizarem as boas práticas agrícolas e uma associação de cafeicultores familiares em Santo Antônio do Amparo, MG, separando em grupos de produtores, de acordo com suas práticas agrícolas. A análise foi aplicada e gerada em software (SPSS) a partir dos dados coletados por meio de questionários divididos em duas partes. A segunda parte possuía 104 variáveis, com escalas de pontos de 1 a 4, com relação à realização das práticas agrícolas adotadas na propriedade. 31 produtores participaram da pesquisa. A partir destes dados, a Análise de Cluster classificou dois grupos distintos de produtores rurais: o Cluster 1 foi formado por 10 produtores e o Cluster 2 por 21 produtores. Foram realizadas as interpretações e análises dos Clusters, do dendrograma e realizadas análises de caracterizações das variáveis a que cada grupo está condicionado. Com isso, conclui-se que os produtores do grupo 2 apresentaram maior organização relativa às boas práticas agrícolas do grupo 1. Destacando a Análise de Cluster que agrupou dois grupos de produtores, ao contrário de se trabalhar diversas variáveis separadamente, facilitando o trabalho de orientação e direcionamento dos produtores da região.

A técnica de Análise de Cluster foi utilizada para agrupar os estados brasileiros em função das atividades econômicas com maior volume de emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil, possibilitando assim a análise de aglomerados e apontando as unidades da federação com as maiores emissões de CO<sub>2</sub> no país.

### **2.3.1 Análise Geoestatística**

A análise geoestatística é uma ferramenta da estatística que busca descrever o comportamento espacial de variáveis e utilizar esse modelo de dependência espacial para realizar interpolações em locais não amostrados, utilizando a técnica de krigagem.

Os procedimentos deste tipo de análise de dados têm sido amplamente utilizados em diversas áreas de conhecimento e são descritos em Yamamoto e Landim (2013) dentre outros autores.

Conforme descreve Guimarães (2004) a técnica consiste em modelar a dependência espacial entre os pontos amostrados e utilizar essa dependência para realizar as interpolações, o que gera estimativas com precisão além de permitir descrever as incertezas das estimativas.

Caram (2007) realizou estudo da precipitação anual no estado de Minas Gerais no período de 1942 a 2000 aplicando os métodos de interpolação inverso do quadrado da distância (IDW) e o método de krigagem ordinária (KO). A partir dos resultados da interpolação por krigagem foram gerados mapas anuais para análise quantitativa e qualitativa. Os semivariogramas dos dados de precipitação anual das estações meteorológicas indicaram o grau de dependência espacial entre as estações dentro do estado. Os resultados evidenciaram que o método geoestatístico de krigagem ordinária mostrou-se mais eficiente que o método de IDW, tendo em vista os menores erros de estimativas (CARAM, 2007).

Souza et al. (2014) aplicaram a análise de geoestatística e o método de krigagem para analisarem diferentes intensidades de amostragem do solo em duas áreas com cana-de-açúcar no estado de São Paulo, para fins de agricultura de precisão para auxiliar no manejo de culturas agrícolas e determinar taxas de fertilizantes e defensivos.

## **2.4 PLATAFORMA SEEG**

A plataforma SEEG é o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa desenvolvido pelo Observatório do Clima (SEEG, 2021). Nessa plataforma encontram-se as estimativas anuais das emissões de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil. Ela usa como base as diretrizes do IPCC e Inventários Nacionais Brasileiros incorporados a fatores e processos de emissão específicos do país; dados brutos de várias fontes oficiais e não oficiais e indicadores econômicos (SEEG, 2021). O SEEG organiza e divulga os documentos analíticos sobre a evolução das emissões dos gases de efeito estufa e disponibiliza as informações no sistema, de forma aberta.

A plataforma SEEG fornece um conjunto de dados de 46 anos de emissões de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil (1970-2015), fornecendo mais de 2 milhões de registros de dados para os setores de Agricultura, Energia, Indústria, Resíduos e Mudanças no Uso do Solo em âmbito nacional e níveis subnacionais (AZEVEDO et al.; 2018), sendo uma plataforma online com acesso via internet e aberta ao público.

Desde 2012 o SEEG é fomentado pelo Observatório do Clima, iniciativa que reúne quase 40 organizações não governamentais e sociedade civil no Brasil. Em 2012, o Observatório do Clima selecionou quatro instituições com forte experiência nos principais

setores emissores para coordenar o processo técnico de produção de estimativas SEEG: Imazon (Mudança no Uso da Terra), Imaflora (Agricultura), IEMA (Energia e Processos Industriais e Uso do Produto) e ICLEI (Desperdício). Essas organizações trabalharam com base nas diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, incorporando-as a fontes múltiplas: Inventários Nacionais, relatórios governamentais, institutos, centros de pesquisa, indústria e outras organizações não governamentais (AZEVEDO et al.; 2018).

### 3. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, I.; ALENCAR, A.; ANGELO, C.; AZEVEDO, T.; BARCELLOS, F.; COLUNA, I.; COSTA JUNIOR, C.; CREMER, M.; PIATTO, M.; POTENZA, R.; QUINTANA, G.; SHIMBO, J.; TSAI, D.; ZIMBRES, B. *Análise das Emissões Brasileiras de Gases de Efeito Estufa e suas Implicações para as Metas de Clima do Brasil 1970-2019*. [S.l.]. Disponível em: [https://seeg-br.s3.amazonaws.com/documentosanaliticos/seeg\\_8/seeg8\\_doc\\_analitico\\_sintese\\_1990-2019.pdf](https://seeg-br.s3.amazonaws.com/documentosanaliticos/seeg_8/seeg8_doc_analitico_sintese_1990-2019.pdf). Acesso em: 12 jan. 2021.

ARAGÃO, A.; CONTINI, E. *O Agro no Brasil e no mundo: Uma síntese do período de 2000 a 2020*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Brasília, DF, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/10180/62618376/O+AGRO+NO+BRASIL+E+NO+MUNDO.pdf/41e20155-5cd9-f4ad-7119-945e147396cb>. Acesso em: 28 out. 2021.

BARBIER, E. *Tropical deforestation. Greening the World Economy*. Blueprint, Londres, 4, 138–166, 2013. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781315070247>. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.4324/9781315070247/blueprint-2-david-pearce>. Acesso em 13 jan. 2021.

BRASIL. Decreto nº 2.652, de 1º de julho de 1998. Promulga a Convenção-Quadro das Nações Unidas. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*: Brasília, DF, 1998.

CARAM, R. O. *Reconstrução de séries e análise geoestatística da precipitação no estado de Minas Gerais*. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2007.

CEPEA - CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. *Glossário Internacional de Termos em Mudanças Climáticas, Protocolo de Quioto e Mercado de Carbono*. Piracicaba, SP, 2004. Disponível em <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/documentos/texto/glossario-sobre-mudancas-climaticas.aspx>. Acesso em: 17 nov. 2021.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/proclima/gases-do-efeito-estufa/>. Acesso em: 29 mar. 2021.

DE AZEVEDO, T. R.; COSTA, C.; BRANDÃO, A.; CREMER, M. S.; PIATTO, M.; TSAI, D. S.; BARRETO, P.; MARTINS, H.; SALES, M.; GALUCHI, T.; RODRIGUES, A.; MORGADO, R.; FERREIRA, A. L.; BARCELLOS E SILVA, F.; DE FREITAS VISCONDI, G.; DOS SANTOS, K. C.; DA CUNHA, K. B.; MANETTI, A.; COLUNA, I. M. E.; KISHINAMI, R. SEEG initiative estimates of Brazilian greenhouse gas emissions from 1970 to 2015. [S.l.], *Nature, Scientific Data*, 5, 1–43, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.45>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/sdata201845#citeas>. Acesso em: 20 nov. 2020.

DINIZ, M. B.; DE OLIVEIRA JUNIOR, J. N.; NETO, N. T.; & DINIZ, M. J. T. Causas do desmatamento da Amazônia: Uma aplicação do teste de causalidade de Granger acerca das principais fontes de desmatamento nos municípios da Amazônia Legal brasileira. [S.l.], *Nova Economia*, 19(1), 121–151, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0103-63512009000100006>.

Disponível em: <https://www.scielo.br/j/neco/a/Tyq5sxMX9LTGLJ3g69Q8HQn/?lang=pt>. Acesso em: 05 dez. 2020.

FEARNSIDE, P. M.; GRAÇA, P. M. L. D. A.; KEIZER, E. W. H.; MALDONADO, F. D.; BARBOSA, R. I.; & NOGUEIRA, E. M. Modelagem de desmatamento e emissões de gases de efeito estufa na região sob influência da Rodovia Manaus-Porto Velho (BR-319). *Revista Brasileira de Meteorologia*, São José dos Campos, SP, 24(2), 208–233, 2009.

FERREIRA, D. F. *Estatística Multivariada*. Lavras: Editora UFLA, Lavras, MG, 2008.

GUIMARÃES, E. C. *Geoestatística básica e aplicada*. Uberlândia, MG, 2021. Disponível em: [ecg.webnode.com](http://ecg.webnode.com). Acesso em: 17 ago. 2021.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Disponível em: <http://www.inpe.br/faq/index.php?pai=9>. Acesso em: 06 out. 2021.

IPCC - PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. Aquecimento Global de 1,5°C: Sumário para Formuladores de Políticas. *IPCC 28* (2019). Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/07/SPM-Portuguese-version.pdf>. Acesso em: 04 jun. 2021.

IPCC - PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. *AR 6* (2021). Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>. Acesso em 29 set. 2021.

LEITE, V. P.; DEBONE, D.; & MIRAGLIA, S. G. E. K. Emissões de gases de efeito estufa no estado de São Paulo: análise do setor de transportes e impactos na saúde. *VITTALLE - Revista de Ciências da Saúde*, 32(3), 143–153, 2020. DOI: <https://doi.org/10.14295/vittalle.v32i3.12220>

NASCIMENTO, J. S.; SILVA JUNIOR, C. S.; MONTEIRO, M. J. G.; LOPES, P. V. N.; SILVA, Y. P. Monitoramento ambiental Impactos ambientais movidos pelo desmatamento sucessivo da Amazônia Legal. *Brazilian Journal of Development*. Curitiba, v. 5, n. 12, p. 33157–33167, 2019. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv5n12-368>. Disponível em: <https://brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/5765/5199>. Acesso: 10 jan. 2021.

PENNA, C. G. O Estado do Planeta: Sociedade de Consumo e Degradação Ambiental. *Record*. Rio de Janeiro, 1999.

QUINTAL, G. M. C. C. *Análise de clusters aplicada ao Sucesso/Insucesso em Matemática*. 1–171. Universidade da Madeira, Funchal, Portugal, 2006.

R CORE TEAM. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2020. URL <https://www.R-project.org/>.

RIBEIRO JUNIOR, P. J.; DIGGLE, P. J. *GeoR: a package for geostatistical analysis*. R News, London, v. 1, n. 2, p. 15-18, 2001.

RODRIGUES, A.; FACHEL, J. M. G.; PASSUELO, A. C. Estatística espacial e análise de cluster em dados de desastres naturais: mapeamento das inundações no Rio Grande do Sul entre 2003 e 2009. *Revista Iniciação Científica*, Criciúma, Santa Catarina, v. 10, n. 1, 48–67, 2012.

ROSA, B. T.; BORGES, L. A. C.; PEREIRA, S. P.; ANTONIALLI, L. M.; CHALFOUN, S. M.; BALIZA, D. P. Good agricultural practices in an association of familiar coffee producers by means of clusters analysis. *Coffee Science*. Lavras, v. 12, p. 49–59, 2017. DOI: <https://doi.org/10.25186/cs.v12i1.1197>

SEEG - SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. Disponível em: <http://seeg.eco.br/>. Acesso em: 08 de fevereiro de 2021.

SOARES, A. P. *Protocolo de Quioto*. Coleção Ambiental. Brasília, v. III, 84p, 2004. <https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/70328/693406.pdf?sequence=2>

SOUZA, M. C. O.; & CORAZZA, R. I. Do Protocolo Kyoto ao Acordo de Paris: uma análise das mudanças no regime climático global a partir do estudo da evolução de perfis de emissões de gases de efeito estufa. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 42, 52–80, 2017.

SOUZA, L. M. Principais causas da intensificação do efeito estufa, e as suas consequências ambientais principais causas da intensificação do efeito estufa. *Monografia (Pós-Graduação em Gestão Ambiental em Municípios)*. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, PR, 2014.

SOUZA, Z. M.; DE SOUZA, G. S.; MARQUES, J.; & PEREIRA, G. T. Número de amostras na análise geoestatística e na krigagem de mapas de atributos do solo. *Ciência Rural*, Santa Maria, RS, v. 44, n. 2, p. 261–268, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782014000200011>

SOUZA, C. M.; SHIMBO, J. Z.; ROSA, M. R.; PARENTE, L. L.; ALENCAR, A. A.; RUDORFF, B. F. T.; HASENACK, H.; MATSUMOTO, M.; FERREIRA, L. G.; SOUZA-FILHO, P. W. M.; OLIVEIRA, S. W.; ROCHA, W. F.; FONSECA, A. V.; MARQUES, C. B.; DINIZ, C. G.; COSTA, D.; MONTEIRO, D.; ROSA, E. R.; VÉLEZ-MARTIN, E.; AZEVEDO, T. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine. *Remote Sensing*, [S.l], v. 12, n. 17, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/RS12172735>

WMO – WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. *Boletim de Gases de Efeito Estufa da OMM (Boletim de GEE)* - No.17: O estado dos gases de efeito estufa na atmosfera com base em observações globais até 2020. Disponível em: [https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice\\_display&id=21975#.YhTfM-rMidX](https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21975#.YhTfM-rMidX) . Acesso em: 21 fev. 2022.

YAMAMOTO, J.K.; LANDIM, P.M.B. *Geoestatística: conceitos e aplicações*. São Paulo: Oficina de textos, 2013. 215p.

ZATORRE, N. P. *Influência da mudança do uso do solo em ecossistema na Amazônia Sul Ocidental*. Dissertação (Pós-Graduação em Agronomia). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2009.

## **CAPÍTULO II: ANÁLISE DE CLUSTER APLICADA ÀS EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> NO BRASIL**

### **RESUMO**

O artigo recorre às análises descritivas e exploratórias da estatística para analisar o comportamento das emissões dos gases de efeito estufa no Brasil analisando a série temporal do período de 1990 a 2019. A técnica de análise de Cluster foi a ferramenta da estatística descritiva utilizada para a análise dos dados das emissões, utilizando-se, também dados quantitativos e informações qualitativas sobre as unidades federativas do país, dados econômicos, estatísticos e naturais relacionados às emissões de gases de efeito estufa. A fim de demonstrar e descrever as diferenças entre as unidades federativas, os setores, as ações e as atividades econômicas que mais influenciam nas emissões. Assim, o artigo oferece elementos para a compreensão da problemática e do crescimento das emissões de gases de efeito estufa do país, a fim de contribuir com governos e com a sociedade para manutenção e desenvolvimento de planos e programas de controle e ação para redução das emissões, e consequentemente cumprimento da NDC brasileira e da PNMC.

**Palavras-chave:** gases de efeito estufa; dióxido de carbono; análise de cluster.

## CLUSTER ANALYSIS APPLIED TO CO2 EMISSIONS IN BRAZIL

### ABSTRACT

The article uses descriptive and exploratory statistical analysis to interpret the behavior of greenhouse gas emissions in Brazil through a time series from 1990 to 2019. The Cluster analysis technique was the descriptive statistical tool used for the analysis of emissions data, also using quantitative data and qualitative information on the country's federative units, economic, statistical, and natural data related to emissions of greenhouse gases. It demonstrates and describes the differences between the federative units, sectors, actions, and economic activities that most influence emissions. Thus, the article offers elements for understanding the issue and the growth of greenhouse gas emissions in the country, to contribute with governments and society to the maintenance and development of control and action plans and programs to reduce emissions, and consequently compliance with the Brazilian NDC and the PNMC.

**Keywords:** greenhouse gas; carbon dioxide; cluster analysis.

## 1. INTRODUÇÃO

As emissões de gases de efeito estufa provenientes de ações antrópicas aumentaram consideravelmente a ponto de alterar a temperatura média do planeta, os sistemas climáticos e os níveis do mar, após o período da Revolução Industrial. Segundo o Resumo para Formuladores de Políticas (SPM) – Sexto Relatório de Avaliação Mudança Climática 2021 - A base da ciência física (IPCC WG1- AR6), a influência humana provocou um aumento da temperatura média do planeta a uma taxa sem precedentes pelo menos nos últimos 2.000 anos e a escala e o estado atual das mudanças no sistema climático não têm precedentes ao longo de muitos séculos (IPCC, 2021). Em 2019 as concentrações de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) atmosférico foram maiores do que em qualquer momento em pelo menos 2 milhões de anos, e as concentrações de metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) foram maiores do que em qualquer momento em pelo menos 800.000 anos (IPCC, 2021).

Atualmente, a provável variação do aumento total da temperatura da superfície global causada pelo homem de 1850-1900 a 2010-2019 é de 0,8 ° C a 1,3 ° C, com uma melhor estimativa de 1,07 ° C (IPCC, 2021), isso devido às várias transformações e ações humanas ligadas ao crescimento econômico, industrial e populacional que levam ao aumento das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). Devido a esses e a vários outros fatores há a necessidade urgente de reduzir as emissões de GEE, para se evitar e/ou mitigar as mudanças climáticas causadas pelo homem, as quais estão causando transformações prejudiciais à Terra, e que poderão tornar insustentável a sobrevivência de várias espécies terrestres. Justifica-se, dessa forma, a importância de trabalhos técnicos científicos com análises e pareceres de dados em longo prazo, fornecendo informações para colaborar com os tomadores de decisões na esfera nacional e estadual em avaliações, verificação de tendências, manutenção e elaboração de planos para a redução/limitação das emissões de GEE.

No Brasil, uma das principais fontes de emissões de GEE é a conversão da vegetação nativa em diferentes formas de uso da terra. Esta ocasiona as emissões diretas através das queimadas e do desmatamento, que elimina as formas naturais de remoção do CO<sub>2</sub> do ar por meio da fotossíntese. Nascimento et al. (2019) afirmam que é necessário agir de forma rígida contra o desmatamento e as queimadas, que são fatores que prejudicam a biodiversidade e o clima, urge cobrança da eficácia de instrumentos de políticas públicas, a universalização e a facilitação de acesso às descobertas e estudos científicos.

A política ambiental do país atrelada às atividades econômicas com forte lastro nas atividades agropecuárias e ainda o crescente desmatamento vêm ocasionando uma aceleração das emissões de gases causadores do efeito estufa, ao longo do tempo.

O Brasil é uma grande potência do agronegócio. Os dados da produção agrícola e pecuária são estrondosos e impactantes no mundo. Segundo Aragão e Contini (2021), em 2020 o Brasil foi o quarto maior produtor de grãos e o maior exportador em valor de grãos do mundo, tendo destaque na produção de soja, que em 2020 ocupou o posto de maior produtor mundial. O país se mantém, há 21 anos, na posição de maior exportador mundial de soja. Em 2020 o rebanho bovino brasileiro foi o maior do mundo e o país ocupou o posto de maior exportador de carne bovina (em quantidade). Destaca-se também que o país ocupa há 20 anos a posição de segundo maior produtor de carne bovina.

O conhecimento dos padrões de emissões dentro do país possibilita uma correlação com as atividades econômicas, utilizando a ferramenta de análise de cluster é possível agrupar os estados em função das similaridades das suas emissões de GEE. A análise de Cluster é um grupo de técnicas da estatística multivariada que permite agrupar variáveis em grupos homogêneos em função da similaridade ou distância dos elementos, agregando-os conforme as características que eles possuem (Fávero et al.; 2009). É uma análise descritiva, não teórica e não inferencial (Fávero et al.; 2009).

Tem-se aplicação de análise de Cluster por diferentes autores e em diversas áreas de conhecimento, como por exemplo: Figueiro Filho et al. (2014) utilizaram a técnica de análise de cluster para classificarem 209 países de acordo com o índice de qualidade de políticas públicas com dados do Banco Interamericano de Desenvolvimento, agrupando os países com semelhanças entre si em três clusters, resultando no agrupamento dos países de acordo com o nível da qualidade de suas políticas públicas; Faxina et al. (2019) utilizaram análise de cluster e análise de componentes principais para reduzirem a matriz inicial permitindo assim a identificação e a associação dos elementos para descreverem a qualidade de sedimentos em áreas alagadas de veredas rurais e urbanas; entre outros autores.

Nesse sentido, o objetivo geral do presente trabalho foi o de fazer o agrupamento das unidades federativas do Brasil quanto à emissão de CO<sub>2e</sub>, tendo como objetos de agrupamentos os estados brasileiros e as variáveis de agrupamento das emissões de acordo com os setores de emissão definidos pelo Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), utilizando-se a análise de Cluster.

## 2. METODOLOGIA

As estimativas das emissões dos gases de efeito estufa são disponibilizadas de forma on-line na plataforma do SEEG (SEEG, 2021) e são expressas em termos de equivalentes de CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>e) usando valores de conversão GWP (Potencial de aquecimento global) e GTP (Potencial de mudança de temperatura global) seguindo os parâmetros de avaliação do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas). No presente trabalho foram utilizadas as estimativas de emissões em toneladas de CO<sub>2</sub>e na metodologia GWP: tCO<sub>2</sub>e.

A principal forma de coleta de dados foi por meio da plataforma do SEEG (SEEG, 2021), utilizando-se download dos dados para o formato de editor de planilhas, posteriormente foi feita a classificação e a organização dos dados para aplicação da Análise de Cluster. E foram coletados dados do IBGE (IBGE, 2021), do último CENSO AGRO (IBGE, 2017) e das informações das unidades federativas, com a finalidade de subsidiar as interpretações obtidas pela análise de agrupamentos.

Para a determinação do número de grupos (clusters) foi utilizado o critério de homogeneidade das observações dentro do grupo e heterogeneidade entre os grupos, associado à função do programa R, que determina o número de clusters em função da largura média das bandas (silhuetas) e da interpretação prática dos grupos formados. Definido assim, os números de clusters foram quatro para todas as análises anuais; foram classificados em ordem decrescente, ou seja, do cluster 1 ao 4, sendo o 1 com a maior emissão, 2 e 3 com emissões intermediárias, e o cluster 4, com a menor emissão de CO<sub>2</sub>e.

A base inicial de dados de trabalho foi composta por 810 observações no banco de dados na esfera nacional, sendo estas as emissões de cada unidade federativa por ano e por setor, no período de 1990 a 2019. Em uma segunda etapa da pesquisa esses dados gerais foram trabalhados, de acordo com os objetivos do estudo, para as análises estatísticas, gerando bancos de dados direcionados a cada procedimento estatístico.

Os dados de emissões de GEE dos setores definidos no SEEG estão relacionados às atividades econômicas predominantes em cada setor, e cobrem as principais emissões de GEE de cada atividade, conforme descrito na Tabela 1.

**Tabela 1 - Categorias de setores e atividades econômicas definidas pelo SEEG**

<b>SETOR</b>	<b>ATIVIDADES ECONÔMICAS</b>	<b>COBERTURA DE EMISSÕES</b>
<b>Agricultura</b>	Pecuária e Agricultura	CH <sub>4</sub> e N <sub>2</sub> O
<b>Mudança no uso do solo</b>	Agropecuária	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> e N <sub>2</sub> O
<b>Energia</b>	Transportes de carga e passageiro, Produção de combustíveis e Geração de energia	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> e N <sub>2</sub> O
<b>Processo industrial e uso do produto</b>	Indústrias: cimento, metalurgia e uso de hidrofluorcarbonetos (HFCs)	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O e Halogenados
<b>Desperdício (Resíduos)</b>	Saneamento Básico: Comercial, residencial e setor público	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> e N <sub>2</sub> O

Fonte: Elaboração da autora a partir dos dados Azevedo et al.; 2018

Os dados de emissões de CO<sub>2</sub>e foram classificados e organizados em planilhas com as seguintes categorias: I) setores por estado total e anual; II) estadual por ano e total; III) país por ano e total da séria histórica; IV) total geral por setor e por estado; V) dos anos de 1990, 2000, 2010 e 2019 total geral por estado; VI) dos anos de 1990, 2000, 2010 e 2019 total geral por setor.

Após a organização dos bancos de dados de forma a atender as condições para a aplicação da análise estatística, eles foram submetidos à técnica de análise cluster da seguinte forma:

i) Dados do período de 1990 a 2019 a nível de Brasil: foram aplicadas às técnicas estatísticas de Análise de Cluster para obtenção dos agrupamentos de estados com padrões de emissões semelhantes entre si. Nesse procedimento os estados brasileiros foram considerados os objetos de agrupamento enquanto a emissão de CO<sub>2</sub>e por setor são às variáveis de agrupamento. Previamente foram determinadas: à medida de similaridade/dissimilaridade entre os objetos (distância Euclidiana), o método de agrupamento (método de Ward) e o número de grupos distintos a serem formados (4 clusters). Os dados submetidos à análise de cluster foram padronizados para que a escala de magnitude da emissão por atividade econômica não interfira na definição dos agrupamentos. Após a obtenção dos grupos, estatísticas descritivas tais como médias, desvios padrões e medianas por grupo foram obtidas e comparadas entre si descritivamente, visando à identificação das atividades que levaram à atribuição de cada estado em determinado grupo, ou seja, identificar as atividades econômicas

que levaram determinado estado a pertencer a um grupo específico. Todo o procedimento de análise de cluster foi realizado com base em Ferreira (2008) utilizando o programa computacional de livre acesso R (R Core Team, 2020).

ii) Dados dos anos de 1990, 2000, 2010 e 2019 em nível de Brasil: foram aplicadas as técnicas estatísticas de análise de cluster para obtenção dos agrupamentos de estados com padrões de emissão semelhantes entre si e para obtenção dos agrupamentos de estados por setor para identificação das semelhanças.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando o dendrograma (Figura 1) gerado pela análise de cluster das emissões totais do período de 1990 a 2019, onde os estados dentro do grupo tendem a ter características similares com relação às suas emissões totais (tCO<sub>2e</sub>), e as análises descritivas, constata-se que:

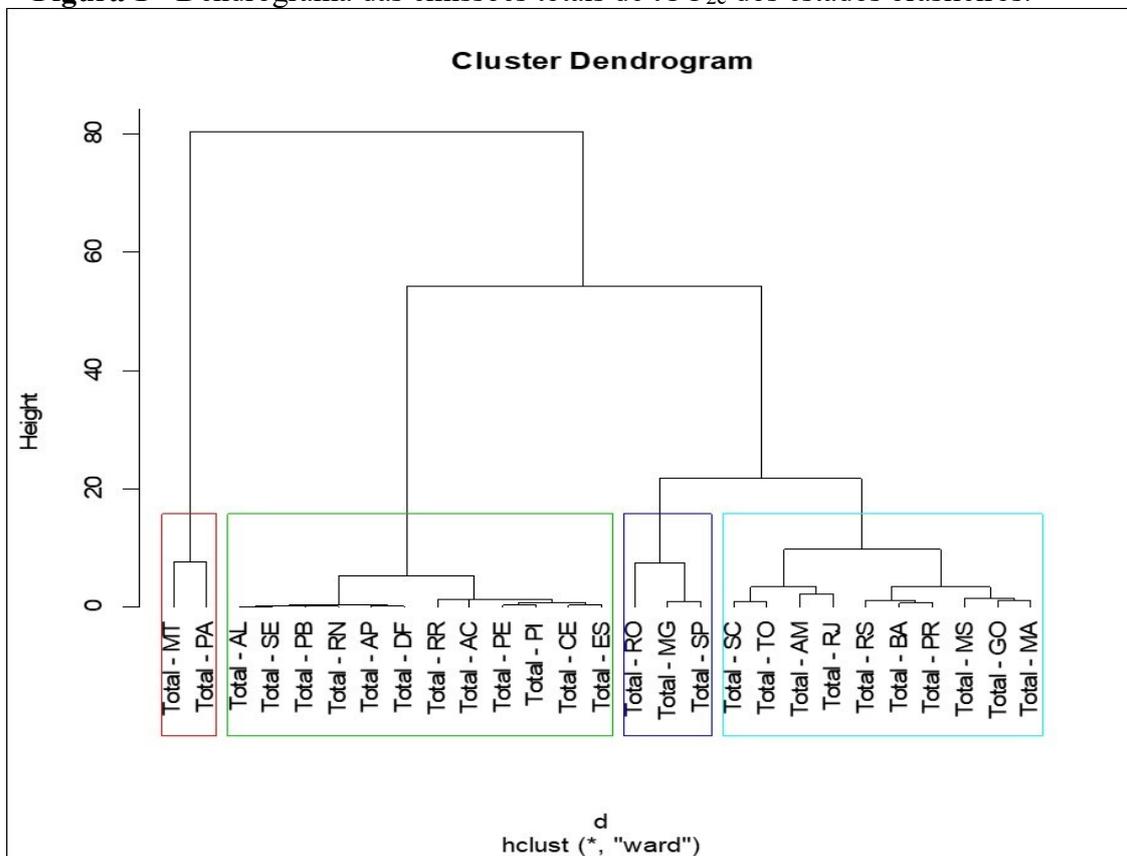
i. Pará e Mato Grosso integram o primeiro grupo e foram os estados que mais emitiram CO<sub>2e</sub> no Brasil. A Mudança de uso do solo é o setor com maior volume de emissões, destacando-se dos demais grupos de setores. Em números absolutos o setor de Mudança de uso do solo emitiu 18.731.895.808 tCO<sub>2e</sub>, com média de 9.365.947.904 tCO<sub>2e</sub>, representando 85,89% das emissões destes dois estados;

ii. Amazonas, Bahia, Goiás, Maranhão, Mato Grosso do Sul, Paraná, Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro, Santa Catarina e Tocantins, foram atribuídos ao segundo grupo. O setor de Mudança de uso do solo também aparece como maior emissor com um total de 9.148.932.914 tCO<sub>2e</sub>, média de 914.893.291,4 tCO<sub>2e</sub>, seguido do setor da Agricultura com emissões de 7.381.531.309 tCO<sub>2e</sub> e média de 738.153.130,9 tCO<sub>2e</sub>, os setores têm as respectivas participações de 42,23% e 34,07% das emissões totais;

iii. Os estados de Minas Gerais, São Paulo e Rondônia no terceiro grupo, com as emissões mais dissipadas entre os setores. Os três setores com as maiores emissões são: Mudança de uso do solo com emissões totais de 5.391.579.413 tCO<sub>2e</sub> e média de 1.797.193.138 tCO<sub>2e</sub>, Agropecuária com 3.294.051.512 tCO<sub>2e</sub> e média 1.098.017.171 tCO<sub>2e</sub>, Energia com 3.023.653.061 tCO<sub>2e</sub> e média de 1.007.884.354 tCO<sub>2e</sub>, com as respectivas participações 41,09%, 25,10% e 23,04%. E há diferenças nos setores que mais emitiram nesses três estados (ordem crescente): Mudança de uso do solo em Rondônia, Energia em São Paulo e Agropecuária em Minas Gerais;

iv. O quarto grupo foi composto pelos estados com as menores emissões: Acre, Alagoas, Amapá, Ceará, Distrito Federal, Espírito Santo, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Roraima e Sergipe, sendo a Mudança de uso do solo o setor com as maiores emissões, se destacando e classificando-se em um grupo isolado, seguido por similaridades com os setores da Agropecuária e Energia. Os valores absolutos dos três setores são respectivamente: total de 2.295.214.988 tCO<sub>2e</sub> e média 191.267.916 tCO<sub>2e</sub>, 1.185.513.163 tCO<sub>2e</sub> e média 98.792.764 tCO<sub>2e</sub>, 1.064.228.590 tCO<sub>2e</sub> e média 88.6857.15 tCO<sub>2e</sub>. A representatividade dos setores dentro desse grupo foi: Mudança de uso do solo com 43,78%, Agropecuária com 22,61%, Energia com 20,30%, Resíduos com 7,08% e Processos Industriais com 6,22%.

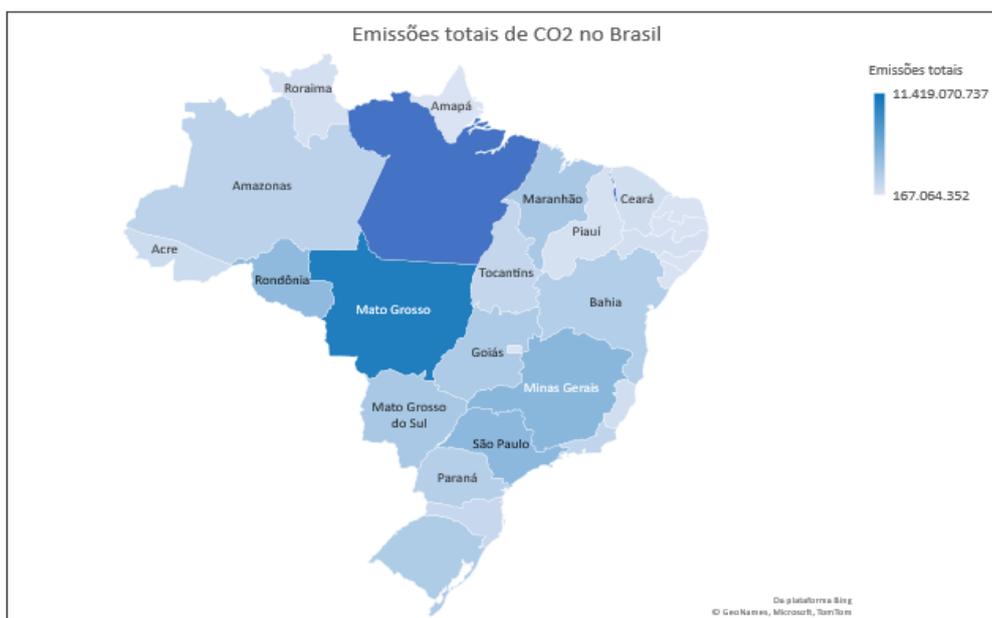
**Figura 1 - Dendrograma das emissões totais de tCO<sub>2e</sub> dos estados brasileiros.**



Fonte: Autora (2021)

A distribuição desses grupos no território brasileiro pode ser visualizada pela Figura 2, que demonstra as emissões totais por estado, com valores expressos em toneladas de CO<sub>2e</sub>; na cor azul mais escuro na figura são os estados com o maior volume de emissões.

**Figura 2** -Emissões totais de CO<sub>2</sub>e de 1990 a 2019 por unidade federativa.



Fonte: Elaboração da autora a partir dos dados do SEEG (2021)

A Tabela 2 demonstra a participação em percentual dos estados nas emissões totais e as emissões totais do período de 1990 a 2019, apresentando que apenas 11 estados de todos os biomas brasileiros foram responsáveis por mais de 80% do total das emissões do período, ou seja, apenas 41% dos estados são responsáveis por mais de 80% das emissões de GEE.

**Tabela 2** - Percentual de participação de cada estado no total de emissões

Estado	Total (tCO <sub>2</sub> e)	Participação (%)	Acumulado (%)
Pará	11.419.070.737	18,51%	18,51%
Mato Grosso	10.389.289.950	16,84%	35,35%
Minas Gerais	4.595.007.073	7,45%	42,79%
São Paulo	4.454.824.078	7,22%	50,01%
Rondônia	4.280.649.560	6,94%	56,95%
Mato Grosso do Sul	2.860.471.026	4,64%	61,59%
Maranhão	2.851.801.019	4,62%	66,21%
Goiás	2.638.561.508	4,28%	70,49%
Rio Grande do Sul	2.503.612.634	4,06%	74,54%
Bahia	2.313.343.727	3,75%	78,29%
Paraná	2.157.709.014	3,50%	81,79%
Amazonas	1.839.014.857	2,98%	84,77%
Rio de Janeiro	1.571.905.279	2,55%	87,32%
Tocantins	1.455.300.512	2,36%	89,68%
Santa Catarina	1.227.129.317	1,99%	91,67%
Acre	912.056.717	1,48%	93,15%
Espírito Santo	710.155.863	1,15%	94,30%
Ceará	667.229.761	1,08%	95,38%
Pernambuco	537.440.994	0,87%	96,25%

...continua...

Tabela 2, Cont.

Roraima	505.660.522	0,82%	97,07%
Piauí	466.595.229	0,76%	97,82%
Paraíba	277.777.081	0,45%	98,28%
Rio Grande do Norte	253.994.348	0,41%	98,69%
Alagoas	230.739.486	0,37%	99,06%
Sergipe	227.478.070	0,37%	99,43%
Amapá	184.921.130	0,30%	99,73%
Distrito Federal	167.064.352	0,27%	100,00%
<b>Total</b>	<b>61.698.803.844</b>	<b>100,00%</b>	

Fonte: Elaboração da autora a partir dos dados do SEEG (2021)

### 3.1. Análise de Cluster das emissões totais

As análises de clusters realizadas das emissões totais (todos os setores), da série histórica de 1990 a 2019, e dos anos de 1990, 2000, 2010 e 2019 são demonstradas na Tabela 3.

Observa-se nos agrupamentos formados na Tabela 3 que as emissões totais dos clusters 1 são de duas a vinte duas vezes maiores do que as emissões dos clusters 4, sendo o Pará e o Mato Grosso os estados que mais se apresentaram e repetiram no Cluster 1 dos anos analisados, e isso deve-se ao fato de que são os estados que mais emitiram GEE no setor de Mudança de uso do solo.

Na Tabela 3, também é possível notar que, há mudanças na composição dos clusters dos anos analisados e do período de 1990 a 2019, devido às similaridades das emissões dos estados. Em alguns casos há dissimilaridade devido ao número elevado de emissões de determinado estado que o segrega dos demais, como é o caso do estado do Pará, devido às altas taxas de emissões de GEE no setor de Mudança de uso do solo, que o coloca em todos os anos no Cluster 1 desse setor, e na maioria dos Clusters 1 dos totais dos setores dos anos analisados. O Pará é o estado que mais emitiu GEE no Brasil nos 30 anos estudados. São Paulo também aparece em clusters isolados nos setores de Energia e Resíduos, devido às suas altas taxas de emissões, segregando-o dos demais estados nos agrupamentos.

**Tabela 3 – Clusters e emissões totais de CO<sub>2</sub> dos anos analisados.**

CLUSTER	1990	2000	2010	2019	1990 a 2019
1	Goiás	Mato Grosso	Bahia	Bahia	Mato Grosso
	Mato Grosso do Sul	Para	Goiás	Goiás	Para
	Minas Gerais		Mato Grosso	Mato Grosso	
	Rio Grande do Sul		Mato Grosso do Sul	Mato Grosso do Sul	
	São Paulo		Parana	Minas Gerais	
			Para	Paraná	
			Rio Grande do Sul	Pará	
				Rio Grande do Sul	
				Rondônia	
				Tocantins	
<b>Emissões (tCO<sub>2</sub>e)</b>	<b>651.862.346</b>	<b>751.456.107</b>	<b>781.993.772</b>	<b>1.292.387.843</b>	<b>21.808.360.687</b>
2	Bahia	Maranhao	Alagoas	Alagoas	Amazonas
	Mato Grosso	Minas Gerais	Amazonas	Amazonas	Bahia
	Paraná	Rondonia	Ceara	Ceará	Goiás
	Pará	Sao Paulo	Distrito Federal	Distrito Federal	Maranhão
			Espírito Santo	Espírito Santo	Mato Grosso do Sul
			Maranhao	Maranhão	Paraná
			Paraiba	Paraíba	Rio Grande do Sul
			Pernambuco	Pernambuco	Rio de Janeiro
			Piauí	Rio Grande do Norte	Santa Catarina
			Rio Grande do Norte	Santa Catarina	Tocantins
			Rondonia	Sergipe	
		Santa Catarina			
		Sergipe			
		Tocantins			
<b>Emissões (tCO<sub>2</sub>e)</b>	<b>524.228.209</b>	<b>603.834.214</b>	<b>394.323.600</b>	<b>398.285.080</b>	<b>21.418.848.893</b>
3	Ceará	Bahia	Minas Gerais	Rio de Janeiro	Minas Gerais
	Maranhão	Goiás	Rio de Janeiro	São Paulo	Rondônia
	Pernambuco	Mato Grosso do Sul	Sao Paulo		São Paulo
	Piauí	Parana			
	Santa Catarina	Rio Grande do Sul			
<b>Emissões (tCO<sub>2</sub>e)</b>	<b>363.389.291</b>	<b>423.607.829</b>	<b>383.362.618</b>	<b>219.688.945</b>	<b>13.330.480.711</b>
4	Acre	Acre	Acre	Acre	Acre
	Alagoas	Alagoas	Amapa	Amapá	Alagoas
	Amapá	Amapa	Roraima	Piauí	Amapá
	Amazonas	Amazonas		Roraima	Ceará
	Distrito Federal	Ceará			Distrito Federal
	Espírito Santo	Distrito Federal			Espírito Santo
	Paraíba	Espírito Santo			Paraíba
	Rio Grande do Norte	Paraiba			Pernambuco
	Rio de Janeiro	Pernambuco			Piauí
	Rondônia	Piauí			Rio Grande do Norte
	Roraima	Rio Grande do Norte			Roraima
	Sergipe	Rio de Janeiro			Sergipe
		Roraima			
		Santa Catarina			
	Sergipe				
	Tocantins				
<b>Emissões (tCO<sub>2</sub>e)</b>	<b>235.052.320</b>	<b>329.286.255</b>	<b>34.581.319</b>	<b>140.482.097</b>	<b>5.141.113.553</b>
<b>Total emissões (tCO<sub>2</sub>e)</b>	<b>1.774.532.166</b>	<b>2.108.184.405</b>	<b>1.594.261.309</b>	<b>2.050.843.965</b>	<b>61.698.803.844</b>

Fonte: Elaboração da autora a partir dos dados do SEEG (2021)

### 3.2. Análise de agrupamento dos setores da série histórica

Aplicada a Análise de Cluster para a série histórica dos setores com 3 clusters, onde os setores foram considerados os objetos de agrupamento, enquanto que a emissão de CO<sub>2</sub>e são as variáveis de agrupamento. Obteve-se o seguinte resultado: o 1º cluster apresentou o agrupamento dos três setores que mais emitiram CO<sub>2</sub>, sendo eles: Mudança do uso da Terra e Florestas, Agropecuária e Processos Industriais; 2º cluster apresentou o setor de Energia como emissor intermediário e o 3º cluster apresentou os Resíduos como o setor com menor emissão.

A Mudança de uso do solo é o setor que mais emitiu GEE dentro de todos os grupos formados nas análises. Nesse setor, a maioria das suas emissões é proveniente das alterações

de uso do solo e influenciada e gerada diretamente pelo desmatamento e as queimadas, e ligadas às atividades econômicas da Agropecuária.

### **3.3. Análise descritiva dos setores**

A Mudança de uso do solo é o setor com maior número de emissões. Representa 57,42% das emissões totais do país e é o setor que mais emitiu CO<sub>2</sub>e em 11 estados nos 30 anos, sendo eles: Acre, Amapá, Amazonas, Bahia, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Piauí, Rondônia, Roraima e Tocantins. Destaca-se o Pará com o maior número de emissões desse setor, 10.161.235.728 tCO<sub>2</sub>e, emitindo quase 1.000 vezes (952) mais que a unidade federativa com a menor emissão desse setor, o Distrito Federal, 10.670.557 tCO<sub>2</sub>e.

A Agropecuária é o segundo setor que mais emitiu GEE no país, 23,28%, em 9 estados. É o setor que mais emitiu GEE no período estudado, nos estados: Alagoas, Ceará, Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Paraíba, Rio Grande do Sul e Sergipe. Destacando-se Minas Gerais como o estado que mais emitiu GEE no referido setor: 1.638.630.082 tCO<sub>2</sub>e; e o Distrito Federal, com menor emissão, correspondente a 10.974.669 tCO<sub>2</sub>e nos 30 anos.

Energia é o terceiro setor que mais emitiu GEE, 13,27%, em 7 unidades federativas é o setor que mais emitiu GEE, sendo elas: Distrito Federal, Espírito Santo, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Rio de Janeiro, Santa Catarina e São Paulo. Destaca-se São Paulo que mais emitiu GEE dentro do setor, 2.046.974.179 tCO<sub>2</sub>e; e Roraima com as menores emissões do setor, 14.239.823 tCO<sub>2</sub>e.

Resíduos é o quarto setor no ranking das emissões do país, representa 3,22% das emissões, não aparece como o setor que mais emitiu dentro de nenhum estado, aparece somente na 2<sup>a</sup> colocação das emissões do Distrito Federal.

Processos Industriais é o setor que menos emite GEE no país, correspondendo a uma taxa de 2,8% das emissões totais nos 30 anos analisados. Também não aparece como o setor que mais emitiu dentro de nenhum estado, aparece somente na 2<sup>a</sup> colocação das emissões no Rio de Janeiro.

### **3.4. Análise dos dados do IBGE**

Com base nos resultados das análises de Clusters, foram realizadas observações adicionais dos dados da cobertura e uso do solo, do período de 1985 e 2017 (Souza et al.; 2020), dos dados do CENSO AGRO (IBGE, 2017) e dos dados estatísticos do IBGE (IBGE,

2021), visando a complementar as análises estatísticas descritivas dos dados de emissões e dar mais sustentabilidade aos resultados.

Os dados do CENSO AGRO (IBGE, 2017) e dados estatísticos do IBGE (2021) apresentados na Tabela 4 demonstram a produção das principais lavouras e os dados dos estados, área total, população, área das lavouras e pastagens para auxiliar as análises da formação dos clusters dos setores de Agropecuária, Mudança de uso do solo, Energia e Resíduos. De acordo com esses dados, observa-se que as três maiores lavouras em volume de produção do país são: a soja em primeiro lugar, seguido por cana-de-açúcar e milho. A tabela 4 apresenta também, os dados da pecuária com o número de cabeças de bovinos, produção de leite de vaca e aves, destacando-se a produção de galináceos que são o maior rebanho em número de cabeças do país, seguido por bovinos.

A partir da análise dos dados da Tabela 4 constata-se que existe uma relação direta da produção agrícola e da pecuária com as emissões de GEE no país.

**Tabela 4 - Dados agropecuários e estatísticos das unidades federativas e do país.**

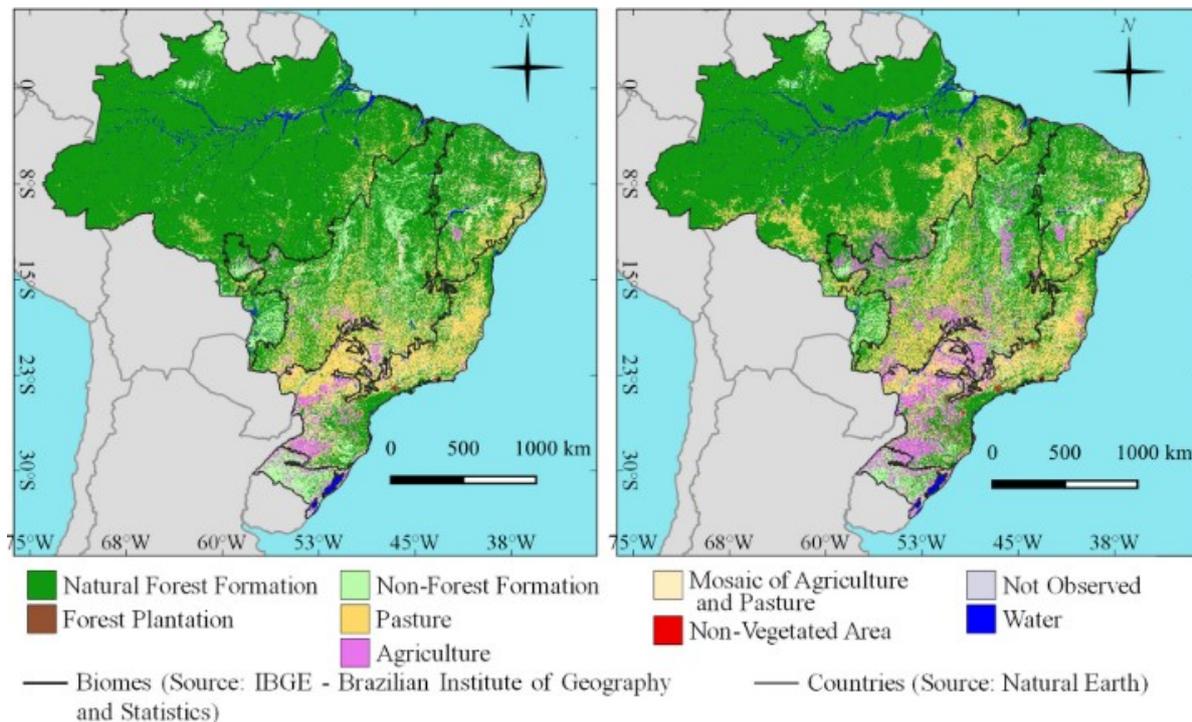
Estado	Área total estado (AT) Km <sup>2</sup>	Área dos estabelecimentos agropecuários (AAGRO) Km <sup>2</sup>	Relação AAGRO AT %	Área lavouras e temporárias		Produção de soja		Produção de cana-de-açúcar		Produção Milho		Bovinos Cabeças	Produção de leite de vaca		Aves Cabeças	Pessoal ocupado - atividades agropecuárias Pessoas	População Pessoas
				Área permanente	Área pastagens (naturais e plantadas)	Toneladas	Nº estabelecimentos	Toneladas	Nº estabelecimentos	Toneladas	Nº estabelecimentos		Litros				
				Utilização %	Utilização %												
Pará	1.245.870,71	284.000	22,80%	5,90%	51,10%	1,2 milhão	579	913 mil	1,9 mil	553,7 mil	40,7 mil	14,3 milhões	647 milhões	29,3 milhões	980 mil	8.777.124	
Mato Grosso	903.207,05	549.000	60,78%	18,00%	41,90%	29,8 milhões	7,1 mil	16,3 milhões	2,9 mil	28,6 milhões	10,6 mil	24,3 milhões	760 milhões	53,5 milhões	422,5 mil	3.567.234	
Mato Grosso do Sul	357.147,99	305.000	85,40%	11,90%	60,40%	8,1 milhões	7,2 mil	50,5 milhões	1,7 mil	9,2 milhões	9,2 mil	19,5 milhões	424 milhões	28,3 milhões	255 mil	2.839.188	
Amazonas	1.559.167,88	40.000	2,57%	5,60%	28,40%	x	x	271 mil	5,9 mil	9,9 mil	8,6 mil	1,3 milhão	65 milhões	4,3 milhões	331 mil	4.269.995	
Bahia	564.760,43	280.000	49,58%	15,90%	42,30%	5 milhões	794	3,7 milhões	15,4 mil	2,2 milhões	139,2 mil	8,2 milhões	937 milhões	32 milhões	2,1 milhões	14.985.284	
Goiás	340.242,85	263.000	77,30%	18,70%	57,00%	10,2 milhões	7,8 mil	73 milhões	3,4 mil	10,5 milhões	20 mil	17,3 milhões	2,7 bilhões	91,6 milhões	491 mil	7.206.589	
Maranhão	329.651,50	122.000	37,01%	11,10%	46,60%	1,9 milhão	449	2,1 milhões	1,1 mil	1,4 milhão	112,1 mil	5,4 milhões	188 milhões	9,6 milhões	693 mil	7.153.262	
Paraná	199.298,98	147.000	73,76%	42,70%	27,30%	15,3 milhões	84,6 mil	37,8 milhões	5,8 mil	14 milhões	129 mil	8,4 milhões	3,3 bilhões	333 milhões	847 mil	11.597.484	
Rio Grande do Sul	281.707,15	217.000	77,03%	36,10%	42,30%	17 milhões	95,5 mil	446,4 mil	31,1 mil	5,4 milhões	180 mil	11,5 milhões	4 bilhões	155 milhões	992 mil	11.466.630	
Rio de Janeiro	43.750,43	24.000	54,86%	8,00%	65,70%	x	x	1,7 milhão	4,5 mil	7,9 mil	2,3 mil	2 milhões	512 milhões	11 milhões	161 mil	17.463.349	
Santa Catarina	95.730,68	64.000	66,85%	22,90%	28,50%	2 milhões	17 mil	106,4 mil	7,9 mil	3 milhões	81,2 mil	3,7 milhões	2,8 milhões	160 milhões	502 mil	7.338.473	
Tocantins	277.423,63	152.000	54,79%	8,00%	55,70%	2 milhões	1,1 mil	2,4 milhões	1,6 mil	732,8 mil	11,4 mil	6,5 milhões	236,5 milhões	7,1 milhões	204 mil	1.607.363	
Minas Gerais	586.513,99	382.000	65,13%	15,20%	50,80%	4,7 milhões	5,6 mil	66 milhões	49 mil	6 milhões	142 mil	19,6 milhões	8,7 bilhões	113 milhões	1,8 milhão	21.411.923	
São Paulo	248.219,48	165.000	66,47%	49,00%	28,90%	2,8 milhões	7,7 mil	348 milhões	15 mil	3,6 milhões	20,6 mil	8,3 milhões	1,5 bilhão	177,6 milhões	833 mil	46.649.132	
Rondônia	237.765,35	92.000	38,69%	4,90%	66,10%	800 mil	402	83,7 mil	1,2 mil	647 mil	4,5 mil	10 milhões	900 milhões	6,3 milhões	271 mil	1.815.278	
Acre	164.173,43	42.000	25,58%	2,00%	34,80%	x	x	3,9 mil	753	59 mil	15,8 mil	2,1 milhões	38 milhões	2,3 milhões	126 mil	906.876	
Alagoas	27.830,66	16.000	57,49%	30,60%	50,00%	814	5	14 milhões	3,1 mil	37,3 mil	41,7 mil	786 mil	189 milhões	3,9 milhões	327 mil	3.365.351	
Amapá	142.470,76	15.000	10,53%	4,30%	29,80%	33,5 mil	16	1,2 mil	1 mil	1,3 mil	1 mil	36,5 mil	1,5 mil	212 mil	31 mil	877.613	
Ceará	148.894,44	69.000	46,34%	14,30%	34,30%	1,1 mil	8	110 mil	3 mil	241 mil	294 mil	1,9 milhão	607 milhões	28,6 milhões	929 mil	9.240.580	
Distrito Federal	5.760,78	2.570	44,61%	42,70%	24,20%	244 mil	304	4,9 mil	133	299 mil	1,4 mil	63 mil	20 milhões	12 milhões	22 mil	3.094.325	
Espírito Santo	46.074,45	32.500	70,54%	22,00%	45,40%	8	4	2 milhões	1,5 mil	37,8 mil	14,7 mil	1,6 milhão	400 milhões	35 milhões	357 mil	4.108.508	
Paraíba	56.467,24	34.000	60,21%	13,00%	31,70%	x	x	5,1 milhões	2,6 mil	36,5 mil	83,2 mil	1 milhão	216 milhões	12,1 milhões	424 mil	4.059.905	
Pernambuco	98.067,88	45.000	45,89%	18,60%	39,60%	7	10	10,3 milhões	6,2 mil	55,3 mil	111,6 mil	1,3 milhão	521 milhões	34 milhões	780 mil	9.674.793	
Piauí	251.755,49	100.000	39,72%	15,80%	21,30%	2 milhões	273	903,2 mil	1,8 mil	1,4 milhão	134 mil	1,4 milhão	97 milhões	10,5 milhões	670 mil	3.289.290	
Rio Grande do Norte	52.809,60	27.000	51,13%	12,80%	34,70%	x	x	2 milhões	513	21,3 mil	29,4 mil	758 mil	228 milhões	5,6 milhões	214 mil	3.560.903	
Roraima	223.644,53	26.000	11,63%	4,00%	42,30%	80,4 mil	58	2,4 mil	1,1 mil	16,4 mil	2,9 mil	681 mil	18,8 milhões	1 milhão	67 mil	652.713	
Sergipe	21.938,18	15.000	68,37%	22,90%	60,10%	x	x	1,8 milhão	895	158 mil	14,8 mil	887 mil	270 milhões	4,7 milhões	234 mil	2.338.474	
<b>Brasil</b>	<b>8.510.345,54</b>	<b>3.510.000</b>	<b>41,24%</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>103 milhões</b>	<b>236 mil</b>	<b>639 milhões</b>	<b>171.348</b>	<b>88 milhões</b>	<b>1,7 milhão</b>	<b>173 milhões</b>	<b>30 bilhões</b>	<b>1,36 bilhão</b>	<b>15 milhões</b>	<b>213.317.639</b>	

Fonte: Elaboração da autora a partir dos dados do IBGE (2021)

### 3.5. Análise da cobertura e uso da terra no país

As imagens do Mapa 1 demonstram mudanças significativas e relevantes na cobertura e uso da terra no país na comparação dos anos, em 1985 a cobertura natural por floresta era maior e houve uma redução significativa em 2017, e observa-se em 2017 à expansão das áreas de pastagem, principalmente no bioma Amazônia e à expansão da agricultura em todos os biomas, principalmente no Cerrado e Mata Atlântica.

**Mapa 1** - Cobertura e uso da terra em 1985 e 2017 nos biomas brasileiros.



Fonte: Souza et al. (2020)

Os dados do estudo de Souza et al. (2020) evidenciam a mudança de uso do solo de grande parte das florestas para utilização da agropecuária, com a grande expansão das áreas de agricultura e pastagem, aumento da área de infraestrutura urbana, menor que a expansão da agricultura e pastagem. Redução significativa das florestas naturais que cobriam 69% (598,9 Mha) do território brasileiro em 1985, e entre 1985 e 2017 houve a redução de 11% das florestas naturais do país, que foram convertidas em outros tipos de cobertura do solo, resultando em uma perda florestal de 65,9 Mha (SOUZA et al.; 2020). Apesar do crescimento relativo de 277% da plantação florestal neste período, estima-se que apenas 6 Mha estavam nas plantações em 2017 (SOUZA et al.; 2020).

Segundo os dados anuais de desmatamento no país, da plataforma SEEG (SEEG, 2021), é possível observar que as taxas de desmatamento anual são diretamente relacionadas (influenciadoras) nas taxas de emissões de GEE, que coincidem os picos das maiores e das menores taxas de desmatamento dos 30 anos com as taxas de emissões de GEE. Em 2010 houve uma redução aproximada de 47% das emissões, comparado ao ano de 2003. Das análises da série histórica o ano de 2010 foi o segundo ano que teve a menor emissão total, 1.594.261.310 tCO<sub>2</sub>e, e 2003 a maior emissão de 2.973.289.766 tCO<sub>2</sub>e, que respectivamente foram os anos com as menores e as maiores taxas de desmatamento.

### **3.6. Análise geral dos dados**

As análises de Clusters adicionadas às análises dos dados do IBGE e das pesquisas de Souza et al. (2020) permitem observar as seguintes correlações dos dados, considerando os clusters dos totais de emissões de 30 anos:

- i. Cluster 1: O Mato Grosso é um dos maiores produtores da agricultura e da pecuária, sendo o maior produtor de milho e soja, e com o maior rebanho bovino do país, com uma área de cerca de 60% ocupada por lavouras e pastagens. O Pará ocupa a 5<sup>a</sup> posição do efetivo de bovinos e a 10<sup>a</sup> posição na quantidade de leite de vaca produzido no ranking dos estados brasileiros. É também o estado com a maior área desmatada do país no período de 2008 a 2020, com uma área desmatada em 2019 de 4.899 km<sup>2</sup>, seguido do Mato Grosso com 1.779 km<sup>2</sup> de área desmatada (INPE, 2021). O Pará e o Mato Grosso no período de 1988 a 2020 foram os estados que tiveram a maior taxa de desmatamento.
- ii. Cluster 2: Composto por 10 estados, que são os estados que na classificação das emissões totais por estado ocupam da 6<sup>a</sup> a 16<sup>a</sup> posição, ou seja, são estados que têm emissões intermediárias, mas significativas, principalmente nos setores de Mudança de uso do solo, Agropecuária e Energia. A maioria dos estados desse Cluster possui áreas de lavouras e pastagens acima de 50% da área total do estado e também se destaca na produção agrícola e na pecuária do país: Paraná é o maior produtor de galináceos, Rio Grande do Sul que ocupa a 2<sup>a</sup> posição na quantidade de leite de vaca produzido. Mato Grosso do Sul que ocupa a 3<sup>a</sup> posição no efetivo do rebanho bovino; Goiás ocupa a 2<sup>a</sup> posição de maior produtor de cana-de-açúcar, 7 estados desse grupo fazem parte do ranking dos 10 maiores produtores de milho, 6 estados do grupo estão entre os 10 maiores produtores de soja, o Amazonas é o segundo maior produtor de açaí e com alta taxa de desmatamento de 1.434 Km<sup>2</sup> em 2019, é o 3<sup>o</sup> estado que mais tem desmatado no país com base nos anos de 2019 e 2020 (INPE, 2021).

iii. Cluster 3: Composto por 3 estados que em valores absolutos ocupam da 3<sup>a</sup> a 5<sup>a</sup> posição das emissões totais. Rondônia tem uma alta taxa de desmatamento. Em 2019 foi 4<sup>o</sup> estado que mais desmatou e entre o período de 2011 a 2018 ocupou a 3<sup>a</sup> posição no ranking de áreas desmatada. Isso explica o fato de apresentar-se nas análises de clusters dos setores como o 3<sup>o</sup> estado que mais emitiu GEE do setor de Mudança de uso de solo. São Paulo é o estado mais populoso, o que explica o fato de ser o que mais emitiu nos setores de Resíduos e Energia, e é também o estado com a maior produção de cana-de-açúcar do país. Minas Gerais é o estado que mais emitiu GEE nos setores da Agropecuária e Processos Industriais, justificando essa colocação o fato de que é o maior produtor de leite do país, o 2<sup>o</sup> maior rebanho bovino, e está entre os 5 estados que mais produzem cana-de-açúcar, milho e galináceos.

iv. Cluster 4: Formado pelos 12 estados que menos emitiram GEE nos 30 anos, sendo eles: Acre, Alagoas, Amapá, Ceará, Distrito Federal, Espírito Santo, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Roraima e Sergipe. São estados que possuem produções agrícolas e pecuárias, e desmatam também, mas não a níveis tão impactantes como os demais estados, a maioria dos estados são de áreas totais e populações menores quando comparados aos estados dos outros Clusters. Desses estados, as principais emissões são nos setores de Mudança de uso do solo, Agropecuária e Energia.

As análises de clusters e descritivas demonstraram que os setores que mais emitiram GEE nos 30 anos foram Mudança de uso do solo e Agropecuária, que são os setores que estimam as emissões das atividades econômicas da agricultura e da pecuária. E as análises dos dados de área de lavoura, área total e população das unidades federativas podem justificar as formações dos agrupamentos e das emissões dos setores.

#### **4. CONCLUSÕES**

O estudo consistiu em uma análise descritiva e exploratória dos dados por meio das análises de clusters demonstrando os principais setores com as maiores taxas de emissões e os relacionando aos estados. Diante dos resultados, conclui-se que o setor de Mudança da cobertura da terra, que é em sua maioria causada por alterações da cobertura do solo através do desmatamento e queimadas, é o principal emissor de GEE no país, e que acarreta prejuízos também por diminuir os sumidouros naturais de CO<sub>2</sub> da atmosfera, evitando assim o equilíbrio natural e o ciclo do CO<sub>2</sub>. E a atividade econômica que mais influencia e emite GEE no país é a pecuária. Ressalta-se que são muitas variáveis que levam à mudança da cobertura

do solo, seja por desmatamento ou queimadas não sendo necessariamente para utilização da agropecuária, há outros motivadores e impulsionadores dessas práticas em sua maioria ilegais.

O Brasil é uma potência do agronegócio e destaca-se mundialmente. As terras que atualmente são utilizadas para as lavouras e pastos são suficientes para que o país se mantenha na posição de maior produtor de vários segmentos e produtos agropecuários. A necessidade constatada é a de conter o avanço e a substituição das coberturas e uso do solo de forma imediata, conter o desmatamento e as queimadas e utilizar as pesquisas existentes e em andamento para a agropecuária sustentável e sem avanço em novas terras, juntamente com planos para reflorestamentos florestais em todo o país.

Observou-se que a problemática do crescimento das emissões de GEE é diretamente proporcional ao desmatamento, devido à mudança e alteração da cobertura do solo e está concentrado em 5 estados (Pará, Mato Grosso, Minas Gerais, São Paulo e Rondônia) que emitiram mais de 50% das emissões de GEE do país. E nesse ritmo de aumento, provavelmente o país não conseguirá cumprir as metas estabelecidas em sua Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), avançando na contramão do Acordo de Paris e da sua própria Política Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC), e atualmente sem perspectivas e planos de ações e programas para a redução das emissões dos GEE no país.

O trabalho poderá contribuir para o direcionamento das políticas públicas, dos planos e iniciativas para a redução de emissões, e principalmente para as ações punitivas e dissuasórias dos órgãos fiscalizadores na redução do desmatamento.

## 5. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, I.; ALENCAR, A.; ANGELO, C.; AZEVEDO, T.; BARCELLOS, F.; COLUNA, I.; COSTA JUNIOR, C.; CREMER, M.; PIATTO, M.; POTENZA, R.; QUINTANA, G.; SHIMBO, J.; TSAI, D.; ZIMBRES, B. Análise das Emissões Brasileiras de Gases de Efeito Estufa e suas Implicações para as Metas de Clima do Brasil 1970-2019. [S.l.]. Disponível em: [https://seeg-br.s3.amazonaws.com/documentosanaliticos/seeg\\_8/seeg8\\_doc\\_analitico\\_sintese\\_1990-2019.pdf](https://seeg-br.s3.amazonaws.com/documentosanaliticos/seeg_8/seeg8_doc_analitico_sintese_1990-2019.pdf). Acesso em: 12 jan. 2021.

ARAGÃO, A.; CONTINI, E. O Agro no Brasil e no mundo: Uma síntese do período de 2000 a 2020. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Brasília, DF, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/10180/62618376/O+AGRO+NO+BRASIL+E+NO+MUNDO.pdf/41e20155-5cd9-f4ad-7119-945e147396cb>. Acesso em: 28 out. 2021.

CENSO AGRO 2017. IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2018. Disponível em: [https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo\\_agro/resultadosagro/index.html](https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/index.html). Acesso em: 15 out. 2021.

DE AZEVEDO, T. R.; COSTA, C.; BRANDÃO, A.; CREMER, M. S.; PIATTO, M.; TSAI, D. S.; BARRETO, P.; MARTINS, H.; SALES, M.; GALUCHI, T.; RODRIGUES, A.; MORGADO, R.; FERREIRA, A. L.; BARCELLOS E SILVA, F.; DE FREITAS VISCONDI, G.; DOS SANTOS, K. C.; DA CUNHA, K. B.; MANETTI, A.; COLUNA, I. M. E.; KISHINAMI, R. SEEG initiative estimates of Brazilian greenhouse gas emissions from 1970 to 2015. [S.l.], *Nature, Scientific Data*, 5, 1–43, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.45>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/sdata201845#citeas>. Acesso em: 20 nov. 2020.

FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P.; SILVA, F. L.; CHAN, B. L. *Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisões*. Rio de Janeiro: Elsevier. 2009.

FAXINA, R. R. DE C.; GUIMARÃES, E. C.; & BERTOLINO, S. M. Qualidade dos sedimentos em áreas alagadas de veredas rurais e urbanas. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 10(4), 261–272, 2019. DOI: <https://doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2019.004.0020>

FERREIRA, D. F. *Estatística Multivariada*. Lavras: Editora UFLA, 2008.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. DA, SANTOS FILHO, R. P.; ROCHA, E. C.; NACIMENTO, W. S.; SILVA, M. B.; & SILVA, L. E. DE O. (2014). Happy together: como utilizar análise fatorial e análise de cluster para mensurar a qualidade das políticas públicas. *Teoria & Sociedade*, 22(2), 123–152.

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/pt/inicio.html>. Acesso em: 14 out. 2021.

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <http://www.inpe.br/faq/index.php?pai=9>. Acesso em: 06 out. 2020.

IPCC: Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. *AR 6* (2021). Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>. Acesso em 29 set. 2021.

MAPBIOMAS. Disponível em: [https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/Fact\\_Sheet\\_Colec%CC%A7a%CC%83o\\_6\\_Agosto\\_2021\\_27082021\\_OK\\_ALTA.pdf](https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/Fact_Sheet_Colec%CC%A7a%CC%83o_6_Agosto_2021_27082021_OK_ALTA.pdf). Acesso em: 28 out. 2021.

NASCIMENTO, J. S.; SILVA JUNIOR, C. S.; MONTEIRO, M. J. G.; LOPES, P. V. N.; SILVA, Y. P. Monitoramento ambiental Impactos ambientais movidos pelo desmatamento sucessivo da Amazônia Legal. *Brazilian Journal of Development*. Curitiba, v. 5, n. 12, p. 33157–33167, 2019. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv5n12-368>. Disponível em: <https://brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/5765/5199>. Acesso: 10 jan. 2021.

QUINTAL, G. M. C. C. *Análise de clusters aplicada ao Sucesso/Insucesso em Matemática*. 1–171. Universidade da Madeira, Funchal, Portugal, 2006.

R CORE TEAM. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2020. URL <https://www.R-project.org/>.

ROSA, B. T.; BORGES, L. A. C.; PEREIRA, S. P.; ANTONIALLI, L. M.; CHALFOUN, S. M.; BALIZA, D. P. Good agricultural practices in an association of familiar coffee producers

by means of clusters analysis. *Coffee Science*. Lavras, v. 12, p. 49–59, 2017. DOI: <https://doi.org/10.25186/cs.v12i1.1197>

SEEG: SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. Disponível em: <http://seeg.eco.br/>. Acesso em: 08 de fevereiro de 2021.

SOARES, A. P. *Protocolo de Quioto*. Coleção Ambiental. Brasília, v. III, 84p, 2004. Disponível em: <https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/70328/693406.pdf?sequence=2>. Acesso em: 20 jan. 2021.

SOUZA, M. C. O.; & CORAZZA, R. I. Do Protocolo Kyoto ao Acordo de Paris: uma análise das mudanças no regime climático global a partir do estudo da evolução de perfis de emissões de gases de efeito estufa. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, Curitiba, PR, 42, 52–80, 2017.

SOUZA, L. M. Principais causas da intensificação do efeito estufa, e as suas consequências ambientais principais causas da intensificação do efeito estufa. *Monografia (Pós-Graduação em Gestão Ambiental em Municípios)*. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, PR, 2014.

SOUZA, C. M.; SHIMBO, J. Z.; ROSA, M. R.; PARENTE, L. L.; ALENCAR, A. A.; RUDORFF, B. F. T.; HASENACK, H.; MATSUMOTO, M.; FERREIRA, L. G.; SOUZA-FILHO, P. W. M.; OLIVEIRA, S. W.; ROCHA, W. F.; FONSECA, A. V.; MARQUES, C. B.; DINIZ, C. G.; COSTA, D.; MONTEIRO, D.; ROSA, E. R.; VÉLEZ-MARTIN, E.; AZEVEDO, T. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine. *Remote Sensing*, [S.l], v. 12, n. 17, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/RS12172735>

ZATORRE, N. P. *Influência da mudança do uso do solo em ecossistema na Amazônia Sul Ocidental*. Dissertação (Pós-Graduação em Agronomia). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2009.

### **CAPÍTULO III: GEOESTATÍSTICA APLICADA ÀS EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> NOS MUNICÍPIOS MINEIROS**

#### **RESUMO**

As mudanças climáticas causadas pelas ações antrópicas têm sido responsáveis por vários impactos negativos ao meio ambiente e à sociedade, tornando-se um dos maiores desafios para os governos, iniciativas privadas e sociedade. Os esforços e os estudos existentes sobre emissões de gases de efeito estufa no país carecem de pesquisas a nível regional e mais próximos dos emissores e responsáveis. Os centros urbanos e suas atividades econômicas têm impacto diretamente nas emissões de gases de efeito estufa (GEE) e existem lacunas nas políticas públicas e na fiscalização sobre Mudança do Clima e nas pesquisas sobre as emissões de gases de efeito estufa a níveis estaduais e municipais. Sendo assim, o presente trabalho apresenta a aplicação das técnicas de análise geoestatística para às emissões de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e), no estado de Minas Gerais, no período de 2000 a 2018. Os resultados demonstraram dependência espacial das emissões de GEE e, portanto, as técnicas de geoestatística são ferramentas eficientes para a criação de mapas temáticos das emissões de GEE, permitindo a visualização espacial dessas emissões no estado e a identificação das regiões com as maiores emissões, relacionando-as com as atividades econômicas predominantes.

**Palavras-chave:** gases de efeito estufa; krigagem; geoestatística.

# **GEOSTATISTICS APPLIED TO CO2 EMISSIONS IN MUNICIPALITIES MINERS**

## **ABSTRACT**

Climate change caused by anthropic actions has been responsible for several negative impacts on the environment and society, making it one of the biggest challenges for governments, private initiatives, and society in general. Existing efforts and studies on greenhouse gas emissions in the country lack research at a regional level and closer to the emitters and those responsible. Urban centers and their economic activities have a direct impact on greenhouse gas (GHG) emissions and there are gaps in public policies and surveillance on Climate Change, as well as in research on greenhouse gas emissions at the state and municipal level. This work presents the application of geostatistical analysis techniques for carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions in the state of Minas Gerais, from 2000 to 2018. The results demonstrated spatial dependence of GHG emissions and, therefore, the geostatistical techniques they are efficient tools for the creation of thematic maps of GHG emissions, allowing the spatial visualization of these emissions in the state and the identification of regions with the highest emissions, relating them to the predominant economic activities.

**Keywords:** greenhouse gas; kriging; geostatistics.

## 1. INTRODUÇÃO

As mudanças no clima causadas pelo aquecimento global são uma realidade e várias comunidades já sofreram ou sofrem com seus efeitos como calor ou frio extremos, enchentes ou longos períodos de estiagem. O IPCC (2021) constatou que a temperatura da terra pós-revolução industrial aumentou em mais 1,07 °C e a escala das mudanças recentes no sistema climático como um todo e o estado atual de muitos aspectos do sistema climático não têm precedentes ao longo de muitos séculos.

O crescimento populacional e o desenvolvimento industrial trouxeram profundas alterações nos padrões de produção e consumo. Em busca do tão sonhado crescimento econômico, as sociedades vêm causando uma grande devastação ambiental com redução dos recursos naturais, extinção de várias espécies e aumento das emissões de gases de efeito estufa que causam aquecimento global e aumento da temperatura do planeta, ocasionando graves problemas ambientais, econômicos e sociais, com potenciais impactos na produção agrícola, que poderá levar milhões de pessoas à desnutrição e má alimentação. Há uma preocupação mundial e mobilização para que haja esforços de todos os países para um equilíbrio na relação população e meio ambiente, que é indispensável para neutralizar as emissões de gases de efeito estufa e frear o aumento do aquecimento global e da temperatura do planeta, para que a Terra continue propiciando condições à sobrevivência.

O Brasil possui grandes estoques de carbono em suas florestas e solo. É um dos países mais ricos em biodiversidade do mundo, em contraponto é um dos maiores produtores de commodities agrícolas do mundo e é um dos principais contribuintes para as mudanças de uso do solo das emissões de gases de efeito estufa em escala global (SOUZA et al.; 2020). O Brasil está entre os 10 países que são os maiores emissores de GEE do mundo e no Acordo de Paris o seu compromisso e suas metas para frear o aquecimento global estão especificadas no Contribuições Nacionalmente Determinadas (sigla NDC, em inglês), onde se compromete a reduzir 43% de seu nível de emissão de 2005 até 2030 (ALBUQUERQUE et al.; 2020).

O Brasil é um país com grande extensão territorial, correspondendo a 8.510.345,538 km<sup>2</sup> (IBGE, 2021), sendo 26 estados e o Distrito Federal, com 5.570 municípios, composto por seis biomas únicos do mundo: Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal e Pampa. Segundo o IBGE (2019), os biomas são constituídos por tipos de vegetação, condições geoclimáticas semelhantes, com diversidade biológica própria e similaridade na história evolutiva de mudanças.

Minas Gerais é um estado central no território do Brasil, faz divisa com outros seis estados, sendo esta uma característica física favorável para seu desenvolvimento e atividades econômicas (MEC, 1999). O estado apresenta três biomas em sua extensão territorial: Cerrado, Mata Atlântica e Caatinga. Com área territorial de 586.513,993 km<sup>2</sup>, ocupa a quarta posição do ranking de área territorial do país, é o segundo estado mais populoso do Brasil com população estimada de 21.411.923 pessoas, distribuída por 853 municípios (IBGE, 2021). De acordo com as informações prévias levantadas pela autora, o estado de Minas Gerais é o terceiro estado que mais emitiu gases de efeito estufa no período de 1990 a 2019.

O território de Minas Gerais é dividido em dez regiões de planejamento com características socioeconômicas similares: Alto Paranaíba com 31 municípios, Central - 158, Centro-Oeste de Minas - 56, Jequitinhonha/Mucuri - 66, Mata - 142, Noroeste de Minas -19, Norte de Minas - 89, Rio Doce - 102, Sul de Minas - 155 e Triângulo com 35 municípios, (MINAS GERAIS, 2021). O estado possui várias características favoráveis ao seu desenvolvimento econômico, como: localização territorial, economias regionais heterogênicas, solo e clima variáveis de acordo com a região, que são adeptas às várias culturas, destacando-se assim a agropecuária. O estado possui também um parque industrial diversificado (transformação e extrativa), com pólos de siderurgias, mineradoras, tecnologia, têxtil e alimentícias, amplo setor de serviços.

A técnica de análise geoestatística de dados tem como base a determinação da dependência espacial entre as observações e é avaliada pelo semivariograma, e a interpolação dos dados para a confecção de mapas temáticos, que utiliza a técnica conhecida como interpolação por krigagem.

A krigagem, apresenta vantagens sobre outras técnicas de interpolação de dados por permitir o cálculo do erro associado às estimativas. Na utilização da interpolação por krigagem faz-se necessária a determinação prévia do semivariograma (OLIVEIRA et al.; 2015; ALMEIDA, 2016).

As primeiras utilizações das ferramentas de geoestatística datam de 1911 com as análises da variação da produção de culturas em pequenos lotes (OLIVEIRA et al.; 2015). A consolidação e os conceitos básicos da geoestatística aconteceram na década de 1960. Em 1951, o engenheiro de minas de ouro, Daniel G. Krige, em seus trabalhos com dados de concentração do mineral na África do Sul constatou ganhos na precisão das estimativas dos dados quando considerou as amostras vizinhas, e que a variância dos dados dependia da distância entre as amostras (KRIGE, 1951; GUIMARÃES, 2004; OLIVEIRA et al.; 2015).

Em 1963, Matheron, continuando a trabalhar com dados da mineração e evoluindo as técnicas de Krige, colocou-as em termos matemáticos e desenvolveu um conjunto de técnicas que caracteriza o ramo da estatística espacial, chamando-o de geoestatística (MATHERON, 1965; MATHERON, 1971; OLIVEIRA et al.; 2015).

A análise geoestatística determina a dependência espacial das observações de uma variável, baseando-se na aleatoriedade dos dados para avaliar a correlação espacial. Produz informações para construção de mapas, sendo uma ótima ferramenta na elaboração de estratégias de conservação e recuperação do meio ambiente (SOARES, 2006). Atualmente é uma técnica muito aplicada em vários ramos da ciência e áreas diversas de ciências humanas, biológicas e exatas (GUIMARÃES, 2004). As funções mais utilizadas na geoestatística para a determinação da dependência espacial ou temporal de variáveis são a função autocorrelação e a função semivariância (GUIMARÃES, 2004).

O objetivo geral do trabalho foi mapear as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) dos municípios de Minas Gerais, utilizando as técnicas da geoestatística. Já os objetivos específicos foram: descrever o comportamento espacial da emissão de CO<sub>2</sub> no estado de Minas Gerais por meio de semivariograma, determinando a amplitude da dependência espacial e a distribuição espacial no estado; criar mapas da a emissão de CO<sub>2</sub>, utilizando a interpolação por krigagem, visando a identificar as regiões e/ou áreas com as maiores emissões e associá-las às possíveis causas dessas maiores emissões dentro do estado.

## 2. METODOLOGIA

Os dados das estimativas das emissões dos gases de efeito estufa utilizados no trabalho são disponibilizados de forma on-line na plataforma do SEEG, Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, desenvolvido pelo Observatório do Clima, que produzem estimativas anuais das emissões de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil com base nas diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) e Inventários Nacionais Brasileiros; incorporam-se a fatores e processos de emissão específicos do país e informações de várias fontes oficiais e não oficiais e em conjunto com indicadores econômicos. Os dados das emissões analisados são expressos em termos de equivalentes de CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>e) usando valores de conversão GWP (Potencial de aquecimento global) seguindo os parâmetros de avaliação do IPCC, expressos em toneladas de CO<sub>2</sub>e, utilizando-se assim a unidade: tCO<sub>2</sub>e GWP para as emissões de GEE.

Foi feita a análise descritiva dos dados para se verificar as características gerais da variável emissão de CO<sub>2</sub>e, dos municípios de Minas Gerais, nos anos de 2000, 2010 e 2018. Nessa etapa foram determinadas as estatísticas: média, mediana, desvio padrão, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria, coeficiente de curtose e análises gráficas para a verificação visual do comportamento dos dados (histogramas) e de ocorrências de tendências nos dados (distribuição espacial dos quartis).

Os dados observados das variáveis em análise foram submetidos às análises geoestatísticas por meio do cálculo das semivariâncias e de ajuste de modelos de semivariogramas teóricos que descreveram o comportamento espacial das emissões de GEE nos três cenários avaliados (2000, 2010 e 2018). Utilizando-se do modelo de semivariograma ajustado, foi feita a interpolação para todo o estado, por meio da técnica de krigagem, que permitiu realizar a confecção de mapas que representaram a distribuição espacial do gás de efeito estufa CO<sub>2</sub> no estado de Minas Gerais, para os anos 2000, 2010 e 2018.

Todos os procedimentos das análises de dados seguiram o que preconizam autores como Vieira (2000) e Yamamoto e Landim (2013), com a utilização do programa computacional de livre acesso R (R Core Team, 2021), por meio do pacote geoR (RIBEIRO JUNIOR E DIGGLE, 2001).

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A análise descritiva preliminar (Tabela 1) revelou assimetria à direita acentuada para as emissões de CO<sub>2</sub>, no estado de Minas Gerais, em todos os anos em análise e, em consequência desse fato, os dados foram transformados para o logaritmo neperianos, ou seja, log<sub>e</sub>, conforme recomendam Yamamoto e Landim (2013). Pode-se verificar ainda a alta variabilidade dos dados com coeficientes de variação (CV) acima de 150% em todos os casos, indicando que em Minas Gerais há cidades que apresentam baixas emissões de CO<sub>2</sub>, mas em contrapartida há outras cidades que apresentam altas emissões de CO<sub>2</sub>. Nesse dado foram observadas cidades como: Santa Cruz de Minas, que apresenta emissões de CO<sub>2</sub> abaixo de 10.000 ton e cidades como: Belo Horizonte, Betim e Uberlândia que apresentaram emissões de CO<sub>2</sub> acima de 2.000.000 ton, nos anos analisados. Justifica-se essa variabilidade pela grande diversidade econômica, social e populacional entre os municípios mineiros.

**Tabela 1.** Estatísticas exploratórias para a emissão de CO<sub>2</sub>e em MG, nos anos de 2000, 2010 e 2018.

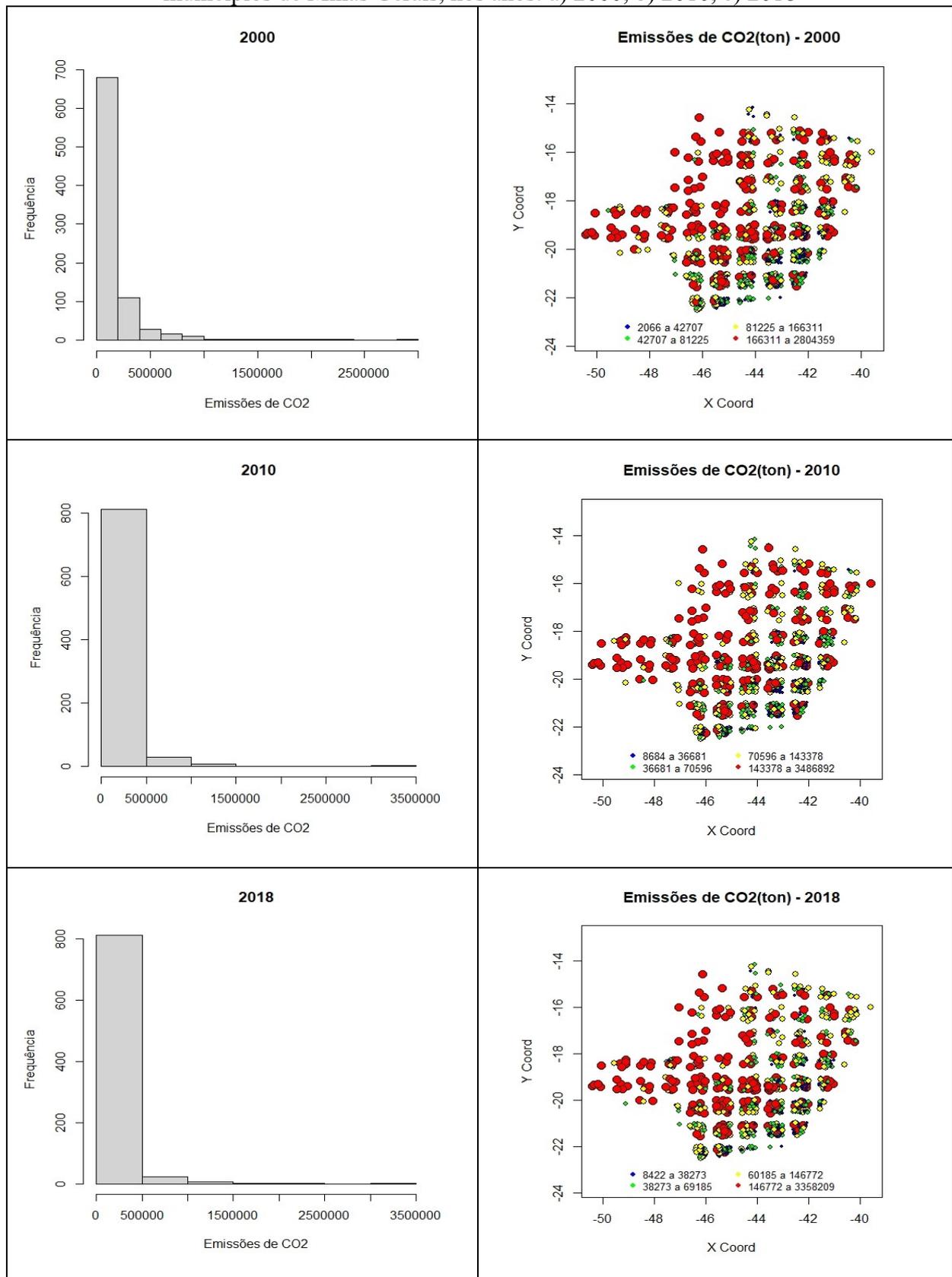
Estatísticas	Emissão de CO <sub>2</sub> no ano		
	2000	2010	2018
Média	157.068,8	143.248,4	146.772,2
Mediana	81.225,0	70.596,0	69.185,0
Desvio Padrão	247.540,2	252.611,7	278.514,0
C. Variação	157,6	176,3	189,7
Mínimo	2.066,0	8.684,0	8.422,0
Máximo	2.802.293,0	3.486.892,0	3.358.209,0
Assimetria	5,3	6,81	6,35
Curtose	39,3	67,22	53,3

Fonte: Autora (2021)

Os histogramas apresentados na Figura 1 mostram a tendência altamente assimétrica à direita das emissões de CO<sub>2</sub>e, corroborando com o fato observado na Tabela 1. Na Figura 1 verifica-se nos histogramas que a maioria das cidades do estado emitem até 500.000 ton de CO<sub>2</sub>e por ano na atmosfera e alguns poucos municípios emitem mais de 500.000 ton.

Ainda na fase das análises preliminares dos gráficos da Figura 1 constata-se que há tendência espacial das emissões de CO<sub>2</sub>e no estado e dessa forma verificou-se a não estacionaridade da variável em análise, portanto, houve a necessidade de se proceder à exclusão da tendência dos dados antes de se realizar as análises geoestatísticas.

**Figura 1.** Histogramas e gráficos de dispersão dos quantis das emissões de CO<sub>2</sub>e pelos municípios de Minas Gerais, nos anos: a) 2000, b) 2010, c) 2018



Fonte: Autora (2021)

Nota-se que há uma concentração de emissões numericamente maiores (vermelho) na porção oeste do estado quando comparado com a porção leste, o que caracteriza a não estacionaridade das emissões. Portanto, tanto pela alta variabilidade das emissões ( $CV > 150\%$ ), quanto pela distribuição não homogênea no estado (não estacionaridade), pode-se dizer que a quantidade média de emissão de  $CO_2e$  de todos os municípios não é capaz de caracterizar essa emissão no estado. Esse fato leva à necessidade de se realizar análises mais localizadas da emissão de  $CO_2e$  no estado, o que pode ser feito por meio das análises geoestatísticas.

A exclusão da tendência dos dados para a aplicação da análise geoestatística foi feita por meio de ajuste de modelos de regressão linear múltipla das emissões em função das coordenadas geográficas das cidades. As equações ajustadas para os anos de 2000, 2010 e 2018 foram, respectivamente (Eq.1, Eq.2, Eq.3):

$$EM = 6,8864 - 0,1989X + 0,2188Y \quad (1)$$

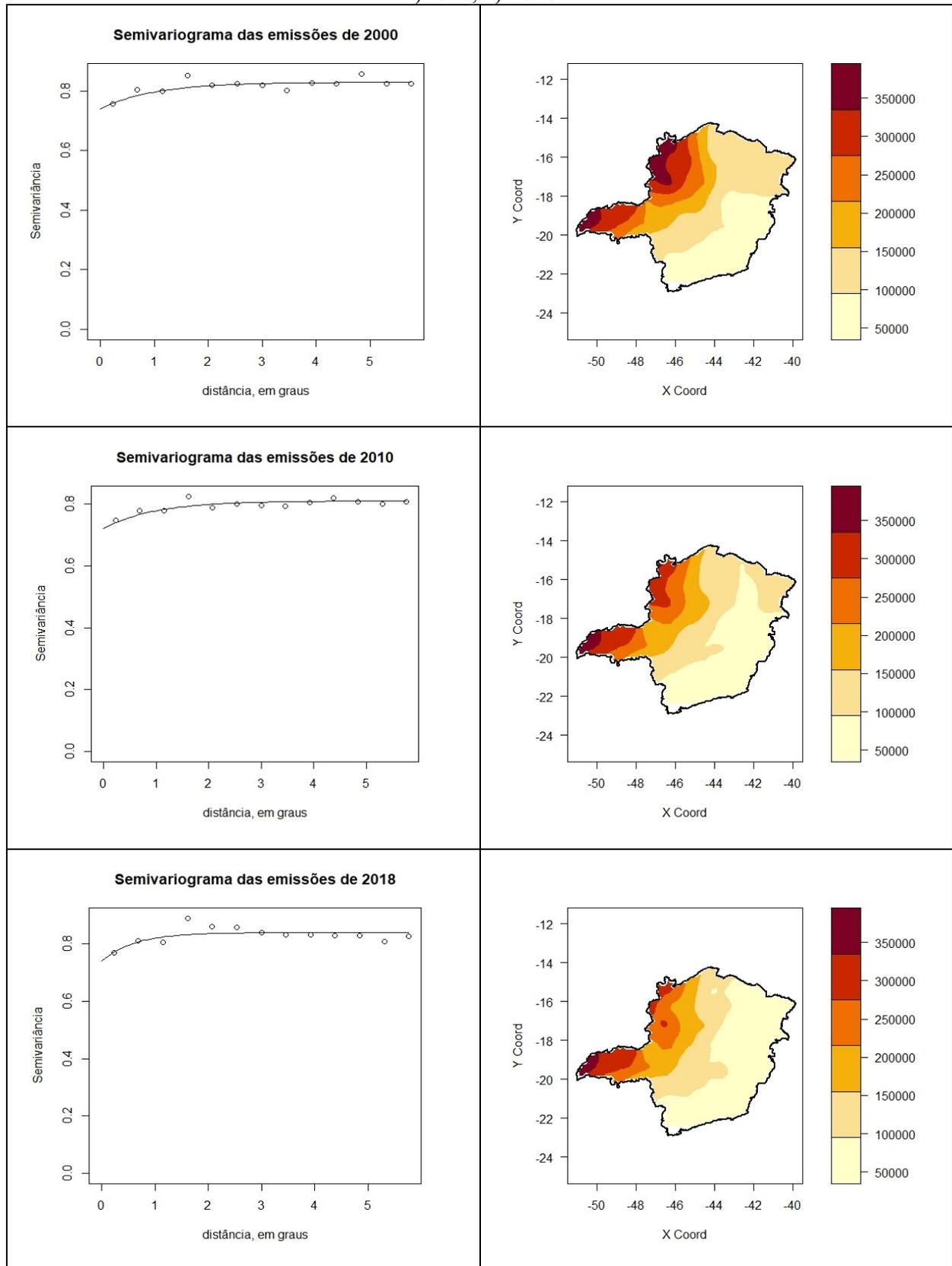
$$EM = 6,2290 - 0,2070X + 0,2090Y \quad (2)$$

$$EM = 4,8884 - 0,2191X + 0,1679Y \quad (3)$$

Na Figura 2 são apresentados os semivariogramas ajustados aos resíduos dos dados transformados em  $\ln(x)$ , das emissões de  $CO_2$ , em Minas Gerais. Na Tabela 2 encontram-se descritos os parâmetros característicos dos modelos ajustados e o grau de dependência espacial (GDE), calculado conforme Cambardella et al. (1984).

Os dados dos mapas apresentados na Figura 2, gerados por meio da interpolação por krigagem, mostram que as maiores emissões de  $CO_2e$  localizam-se nas regiões do Triângulo Mineiro e do Noroeste de Minas, em todos os cenários analisados. Essas regiões são grandes produtoras agrícolas, com destaque para as culturas temporárias como soja e milho e têm grande contribuição na pecuária estadual. As regiões Sul e Sudeste de Minas apresentaram as menores emissões de  $CO_2e$ , sendo que estas são regiões geralmente montanhosas em que o cultivo de culturas perenes, como é o caso da cultura do café, prevalece sobre as culturas anuais (temporárias), o que proporciona a cobertura vegetal do solo durante todo o ano (MINAS GERAIS, 2021).

**Figura 2.** Semivariogramas dos resíduos da regressão múltipla das emissões em função das coordenadas geográficas, e Mapa de calor das emissões de CO<sub>2</sub>e para os anos: a) 2000, b)2010, c) 2018



Fonte: Autora (2021)

Para os três cenários analisados foram ajustados modelos de semivariogramas exponenciais. Esses semivariogramas apresentaram fraca dependência espacial, de acordo com a classificação de Cambardella et al. (1984), indicando que as emissões apresentam fraca correlação espacial entre os municípios. Verificou-se ainda que o alcance prático da dependência espacial foi de apenas 1,86 a 3,00 graus, portanto, essa fraca dependência, manifestou-se em locais que apresentam distâncias entre si de 3,00 graus (2000), 2,91 graus (2010) e 1,86 graus (2018). Cabe ressaltar que a distância máxima que é observada entre os municípios mineiros é de aproximadamente 11,4 graus, portanto, tem-se que a correlação espacial ocorre em espaços relativamente curtos.

**Tabela 2.** Modelos de semivariogramas, parâmetros dos modelos e grau de dependência Espacial (GDE) para as emissões de CO<sub>2</sub>, em Minas Gerais, nos anos 2000, 2010 e 2018.

Descrição do modelo	Anos		
	2000	2010	2018
Modelo	Exponencial	Exponencial	Exponencial
Efeito pepita (Co)	0,74	0,72	0,74
Patamar (Co+C)	0,83	0,81	0,84
Alcance teórico (Ao)	1,00	0,97	0,62
Alcance prático (a)	3,00	2,91	1,86
GDE	0,89	0,88	0,88

Fonte: Autora (2021)

De modo geral, o que se pode observar com a análise dos cenários de emissão de CO<sub>2</sub> e nos anos de 2000, 2010 e 2018 é que o comportamento espacial foi pouco alterado no período, no estado de Minas Gerais com destaque para as regiões: Noroeste, Norte e Jequitinhonha que diminuíram suas emissões de 2010 a 2018.

Houve uma mudança no padrão das emissões dentro do estado do ano de 2000 para 2010. No ano de 2000 o setor de Mudança de Uso da Terra e Floresta era o maior emissor de GEE do estado, seguido pela Agropecuária, mas em 2010 e 2018 o setor de Agropecuária foi o maior emissor de GEE em Minas Gerais, seguido pelo setor de Energia, seguidos por Mudança de Uso da Terra e Floresta, Resíduos e Processos Industriais, passando o setor de Mudança de Uso da Terra e Floresta a ocupar a terceira posição no ranking de emissões. Essa

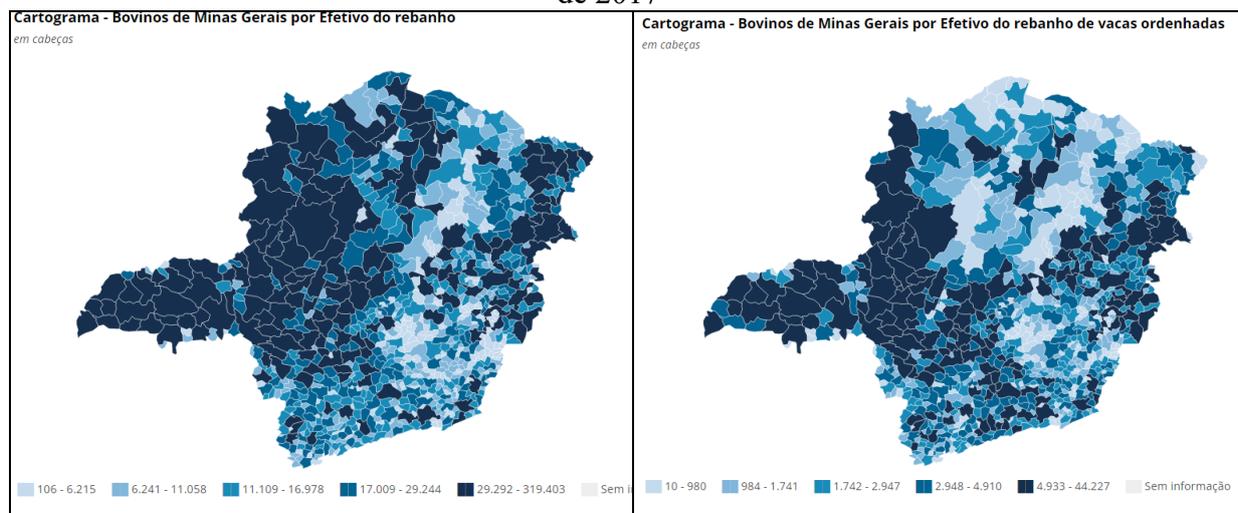
mudança é perceptível na Figura 3, onde as regiões Noroeste, Norte e Jequitinhonha apresentam redução nas emissões de GEE ao longo do tempo de 2000 a 2018.

Minas Gerais tem 607.557 estabelecimentos agropecuários, que ocupam uma área total de 381.686,88 Km<sup>2</sup>, à cobertura do solo dessa área, 51% são destinadas a pastagens, 27% de matas/florestas, 15% de lavouras permanentes e temporárias, em sua maioria lavouras temporárias (70%), e 7% outros tipos de utilização da terra (CENSO AGRO, 2017).

O estado destaca-se na Pecuária. É o 2º estado com o maior rebanho bovino do país, destacando-se como o 1º em rebanho de vacas, produção de leite, rebanho de Equinos, com destaque para a região do Triângulo Mineiro e o Noroeste do estado onde estão concentradas as cidades com o maior rebanho bovino do estado (CENSO AGRO, 2017).

A Figura 3 apresenta a distribuição dos municípios produtores de rebanho bovino e de vacas leiteiras, possibilitando a visualização das regiões com o maior rebanho efetivo e de vacas leiteiras dentro do estado.

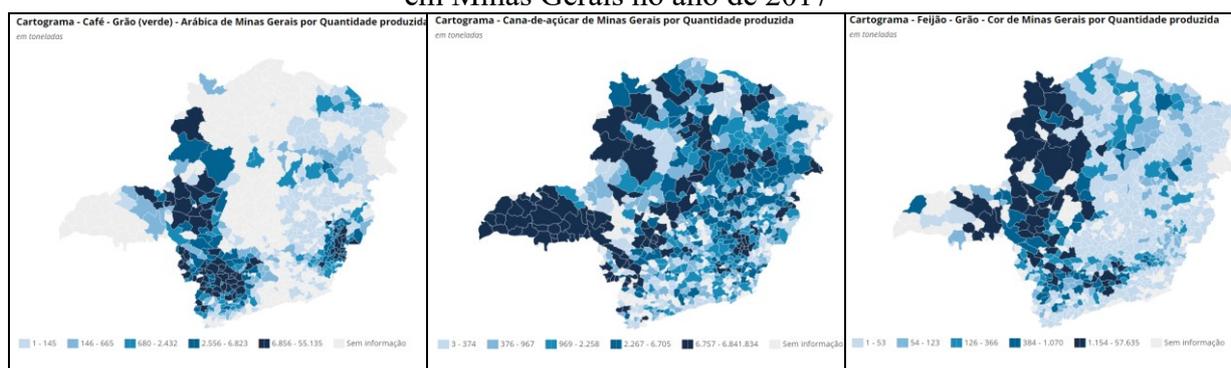
**Figura 3.** Distribuição do efetivo dos rebanhos bovinos e de vacas em Minas Gerais no ano de 2017



Fonte: CENSO AGRO (2017)

O Estado de Minas Gerais destaca-se também na agricultura, sendo o maior produtor do Brasil das culturas: feijão de cor, café arábica, abacaxi, abóbora, alho, banana, ervilha, batata-inglesa, cana-de-açúcar forrageira.

**Figura 4.** Distribuição das produções de a) café arábica, b) cana-de-açúcar e c) feijão de cor em Minas Gerais no ano de 2017



Fonte: CENSO AGRO (2017)

Analisando as Figuras 3 e 4 com os mapas da Figura 2, percebe-se que as regiões do Triângulo Mineiro e Noroeste de Minas possuem a maior concentração do efetivo de rebanho do estado e são grandes produtoras agrícolas, mas de lavouras temporárias, enquanto o Sul de Minas destaca-se nas lavouras permanentes.

O Triângulo Mineiro destaca-se na produção de sorgo (maior região produtora do estado), rebanho bovino e de vacas leiteiras, produção de leite, cana-de-açúcar, e no setor de transporte devido à logística privilegiada com localização estratégica entre importantes estados brasileiros, tendo assim o impacto dessas atividades econômicas nas emissões de GEE, sendo suas maiores emissões nos setores de Agropecuária e Energia.

A região Noroeste destaca-se no efetivo do rebanho bovino e de vacas leiteiras, na produção de feijão de cor, soja e milho, com suas maiores emissões no setor de Agropecuária e Mudança de Uso da Terra e Floresta. Acredita-se que a mudança no setor que mais emitia nessa região em 2000 (Mudança de Uso da Terra e Floresta) e em 2018 (Agropecuária), e a redução nas emissões de 2000 a 2018 são provenientes da expansão da agricultura sobre áreas ocupadas anteriormente por pastagem e aumento das áreas de silvicultura (IBGE, 2021; IDE-SISTEMA 2021).

Quando analisados os quantitativos dos municípios, o ranking de maiores emissores de GEE dentro do estado em 2018 é liderado por Vespasiano, seguido de Belo Horizonte, Betim, Uberlândia e Sete Lagoas. Quatro municípios dos 5 que mais emitiram são da região metropolitana, com os principais setores emissores: Energia e Processos Industriais. Em 2010 os municípios que mais emitiram GEE em ordem decrescente foram: Belo Horizonte, Betim, Uberlândia, Uberaba e João Pinheiro. Em 2000 os municípios que mais emitiram GEE em ordem decrescente: Belo Horizonte, Betim, Paracatu, Uberlândia e João Pinheiro, nos

municípios metropolitanos as emissões do setor de Energia e Resíduos são preponderantes. No Triângulo Mineiro os setores de Energia e Agropecuária lideram e na região Noroeste, o setor de Mudança de Uso da Terra e Floresta lidera, seguido da Agropecuária.

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos por meio das análises de geoestatística foram eficazes e permitiram a identificação das regiões do estado de Minas Gerais com as maiores emissões de gases de efeito estufa; do padrão e da distribuição espacial das emissões e das alterações ao longo do período estudado, 2000 a 2018.

A região do Triângulo Mineiro é a região com as maiores emissões de CO<sub>2</sub>e dentro do estado nos anos de 2000 a 2018. O Noroeste de Minas é uma região com alta taxa de emissão, mas que ao longo do período analisado, teve redução em suas emissões de CO<sub>2</sub>e.

O estudo possibilitou a assimilação das atividades econômicas que mais emitiram GEE nessas regiões. Conclui-se que, as possíveis causas das altas taxas de emissões da região do Triângulo Mineiro devem-se às atividades econômicas da pecuária, transportes de cargas, e geração de energia. Os setores de Energia e Agropecuária também são os setores que mais impactam e emitem gases do efeito estufa no estado de Minas Gerais como um todo.

Portanto, faz-se necessário elaborar políticas públicas, planos de ações e fiscalizações municipais ou regionais pela unidade federativa com foco nas atividades econômicas que mais emitem GEE dentro do estado. Deve-se utilizar a tecnologia e os estudos existentes e desenvolver novos estudos em prol de uma pecuária, transporte de cargas e geração de energia mais sustentáveis.

A realização de pesquisas e investigações mais aprofundadas nos dados de emissões de GEE pode evidenciar pontos positivos e negativos de cada região dentro do estado e corroborar para desenvolvimento de políticas públicas, planos de ações e fiscalizações ambientais, bem como de trabalhos futuros, que analisem as emissões por região ou município do estado de Minas Gerais.

Ademais, são sugeridas novas pesquisas sobre emissões de GEE dos municípios mineiros, buscando avaliar os impactos dos gases de efeito estufa e analisá-los comparativamente, principalmente do dióxido de carbono e metano, relacionando-os com as atividades econômicas que mais impactam por município.

## 5. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. S. *Geoestatística aplicada à gestão ambiental da fertilidade e de fitonematoides na cafeicultura do Cerrado*. Dissertação (Pós-Graduação em Qualidade Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016. 104 f.

CENSO AGRO 2017. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: [https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo\\_agro/resultadosagro/estabelecimentos.htm?localidade=31](https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/estabelecimentos.htm?localidade=31). Acesso em: 15 nov. 2021.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Disponível em: <http://minasedados.fjp.mg.gov.br/#dados-ase>. Acesso em: 08 nov. 2021.

GUIMARÃES, E. C. *Geoestatística básica e aplicada*. Uberlândia. Disponível em: [ecg.webnode.com](http://ecg.webnode.com). Acesso em: 04 nov. 2021.

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/pt/inicio.html>. Acesso em: 07 nov. 2021.

IBGE. *Biomass e Sistema Costeiro-Marinheiro do Brasil: compatível com a escala 1:250.000*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, 2019, v. 45, 161 p.

IBGE. *Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra: Estatísticas Unidades da Federação 2000/2018*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, 2021, 22 p.

INFRAESTRUTURA DE DADOS ESPACIAIS. IDE-SISTEMA. Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis>. Acesso em 16 nov. 2021.

IPCC: Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. *AR 6 (2021)*. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>. Acesso em 29 set. 2021.

KRIGE, D. G. *A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the Witwatersrand*. Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa, v. 52, p. 151-163, 1951.

MATHERON, G. *Les variables regionalisées et leur estimation*, Ed. Masson, Paris, 1965. 306 p.

MATHERON, G. 1971. Teoria das Variáveis Regionalizadas e Suas Aplicações. Paris, École Nationale Supérieure des Mines de Paris, Paris, 1971. 211 p.

MEC – MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO: *Indicadores Socioeconômicos (1999)*. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf/Indicadores%20Scio-econmicos.pdf>. Acesso em: 08 nov. 2021.

MINAS EM NÚMEROS. Disponível em: <http://www.numeros.mg.gov.br/QvAJAXZfc/opendoc.htm?document=MapaResultados.qvw&host=QVS%40vm13532&anonymous=true>. Acesso em: 02 nov. 2021.

MINAS GERAIS: Portal do governo estadual. Disponível em: <https://www.mg.gov.br/conteudo/conheca-minas/geografia/regioes-de-planejamento>. Acesso em: 08 nov. 2021.

SOARES, A. *Geoestatística para ciências da terra e do ambiente*. 2. ed. Lisboa: IST Press, 2006. 232 p.

OLIVEIRA, R. P.; GREGO, C. R.; BRANDÃO, Z. N. *Geoestatística aplicada na agricultura de precisão*. Brasília: Embrapa Solos, 2015. 23 p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, 2015. Vienna: Disponível em: <http://www.r-project.org> . Acesso em: 04 nov. 2021.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.; V.H. & SCHAEFER, G.R.; eds. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, p.1-54.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados utilizados são de estimativas de emissões da plataforma SEEG, que atualmente no Brasil é a única fonte desses dados no Brasil, de forma completa e abrangente, englobando todos os estados e municípios. Os dados das estimativas das emissões dos municípios são um produto novo da plataforma SEEG, lançado em 2021, que ainda possui algumas limitações nos dados decorrentes de melhorias na estrutura de cálculo das estimativas municipais, como melhor caracterização e alocação das emissões, e os dados de emissões por processos industriais. Uma parte significativa das emissões não pôde ser alocada nos municípios devido à ausência de dados das indústrias (SEEG, 2021).

O capítulo II analisou as emissões totais em nível Brasil, possibilitando a visualização da posição de todos os estados dentro do cenário nacional, despertando a importância para as análises em níveis estaduais e municipais, corroborando assim para a importância do trabalho. O Capítulo III que analisou a dinâmica das emissões dentro do estado de Minas Gerais, que é o terceiro estado que mais emitiu GEE no país, no período de 1990 a 2019.