

ANÁLISE DE CLUSTER APLICADA ÀS EMISSÕES DE CO₂ NO BRASIL

Ana Carolina Tomaz Duarte Tobaruela Ortiz¹ 

Ednaldo Carvalho Guimarães² 

Destaques:

- O Brasil é um dos dez países do mundo que mais emitem gases de efeito estufa.
- Aplicação da Análise de Cluster para agrupar os estados brasileiros com relação às emissões GEE.
- A análise das emissões possibilita a visualização do cenário das emissões no país e nos estados.

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; estados; setores.

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; states; sectors.

¹ MBA em Gerenciamento de Projetos pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e auditora interna em grupo empresarial. E-mail: acaroltd@gmail.com

² Professor Titular da Faculdade de Matemática na Universidade Federal de Uberlândia (UFU). E-mail: ednaldoufu@gmail.com

ANÁLISIS DE CLUSTER APLICADO A LAS EMISIONES DE CO₂ EN BRASIL

Resumen: El artículo utiliza análisis estadísticos descriptivos y exploratorios para analizar el comportamiento de las emisiones de gases de efecto invernadero en Brasil, analizando la serie temporal de 1990 a 2019. La técnica de análisis de conglomerados fue la herramienta de estadística descriptiva utilizada para el análisis de los datos de emisiones, utilizando también datos cuantitativos y información cualitativa sobre las unidades federativas del país, datos económicos, estadísticos y naturales relacionados con las emisiones de gases de efecto invernadero. Con el fin de demostrar y describir las diferencias entre unidades federativas, sectores, acciones y actividades económicas que más inciden en las emisiones. Así, el artículo ofrece elementos para la comprensión de la problemática y el crecimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero en el país, a fin de contribuir con los gobiernos y la sociedad para el mantenimiento y desarrollo de planes y programas de control y acción para la reducción de emisiones, y consecuentemente el cumplimiento de las la NDC brasileña y la PNMC.

Palabras clave: gases de invernadero; dióxido de carbono; análisis de conglomerados; estados; sectores.

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 (CO₂) atmosférico foram maiores do que em qualquer momento em pelo menos 2 milhões de anos, e as concentrações de metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) 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 CO₂ 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 CO₂e, 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.

COLETA DE DADOS

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 CO₂ (CO₂e) 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 CO₂e na metodologia GWP: tCO₂e.

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 CO₂e.

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.

A Tabela 1 apresenta os dados de emissões de GEE dos setores definidos no SEEG que estão relacionados às atividades econômicas predominantes em cada setor, e cobrem as principais emissões de GEE de cada atividade.

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

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

Fonte: Elaboração dos autores a partir dos dados Azevedo *et al.* (2018).

Os dados de emissões de CO₂e foram classificados e organizados em

planilhas com as seguintes categorias:

- a) setores por estado total e anual;
- b) estadual por ano e total;
- c) país por ano e total da série histórica;
- d) total geral por setor e por estado;
- e) dos anos de 1990, 2000, 2010 e 2019 total geral por estado;
- f) 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:

- a) 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 CO₂ e por setor são às variáveis de agrupamento. Previamente foram determinadas: a 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);
- b) 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.

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 (tCO₂e), e as análises descritivas, constata-se que:

- a) Pará e Mato Grosso integram o primeiro grupo e foram os estados que mais emitiram CO₂e 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 tCO₂e, com média de 9.365.947.904 tCO₂e, representando 85,89% das emissões destes dois estados;
- b) 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 tCO₂e, média de 914.893.291,4 tCO₂e, seguido do setor da Agricultura com emissões de 7.381.531.309 tCO₂e e média de 738.153.130,9 tCO₂e, os setores têm as respectivas participações de 42,23% e 34,07% das emissões totais;
- c) 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 tCO₂e e média de 1.797.193.138 tCO₂e, Agropecuária com 3.294.051.512 tCO₂e e média 1.098.017.171 tCO₂e, Energia com 3.023.653.061 tCO₂e e média de 1.007.884.354 tCO₂e, com as respectivas participações 41,09%, 25,10% e 23,04%. E há diferenças nos setores que mais emitiram nesses três estados (ordem

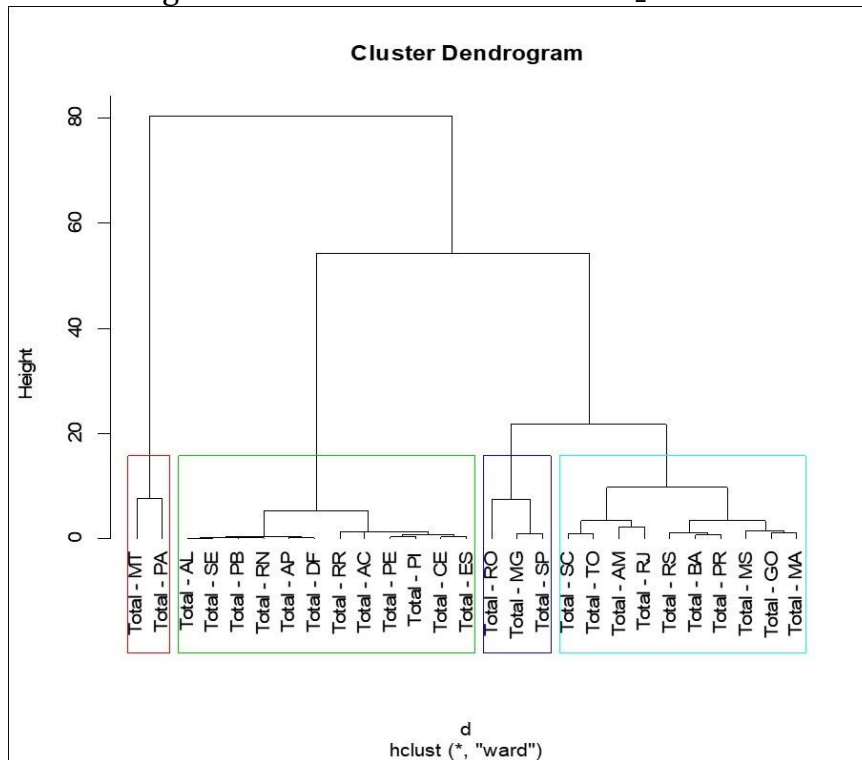
crescente): Mudança de uso do solo em Rondônia, Energia em São Paulo e Agropecuária em Minas Gerais;

- d) 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 tCO₂e e média 191.267.916 tCO₂e, 1.185.513.163 tCO₂e e média 98.792.764 tCO₂e, 1.064.228.590 tCO₂e e média 88.6857.15 tCO₂e. 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%.

Os agrupamentos formados são visualizados no dendrograma da Figura

1.

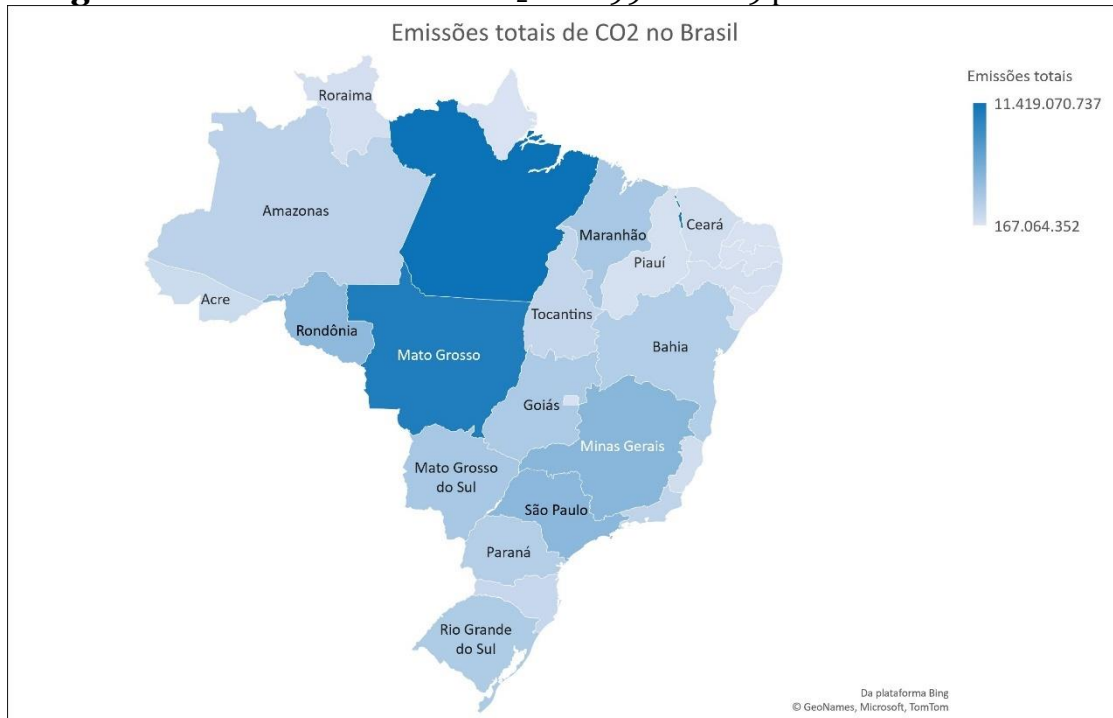
Figura 1 - Dendrograma das emissões totais de tCO₂e dos estados brasileiros



Fonte: Os autores.

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 CO₂e; na cor azul mais escuro na figura são os estados com o maior volume de emissões, e os estados com os tons de azul iguais são os estados que estão no mesmo cluster para uma melhor visualização espacial dos clusters.

Figura 2 - Emissões totais de CO₂e de 1990 a 2019 por unidade federativa



Fonte: Elaboração dos autores a partir dos dados do SEEG.

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 (tCO₂e)	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%
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%
Total	61.698.803.844	100,00%	

Fonte: Elaboração dos autores a partir dos dados do SEEG.

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 CO₂ dos anos analisados

CLUSTER	1990	2000	2010	2017	2019	1990 a 2019
1	Goias Mato Grosso do Sul Minas Gerais Rio Grande do Sul São Paulo	Mato Grosso Para	Bahia Goias Mato Grosso Mato Grosso do Sul Parana Para Rio Grande do Sul	Acre Alagoas Amapá Amazonas Ceará Distrito Federal Espírito Santo Maranhão Paraíba Pernambuco Piauí Rio Grande do Norte Rondônia Roraima Santa Catarina Sergipe Tocantins	Bahia Goias Mato Grosso Minas Gerais Paraná Pará Rio Grande do Sul Rondônia Tocantins	Mato Grosso Para
Emissões (tCO₂e)	651.862.346	751.456.107	781.993.772	605.899.961	1.292.387.843	21.808.360.687
2	Bahia Mato Grosso Paraná Pará	Maranhao Minas Gerais Rondonia Sao Paulo	Alagoas Amazonas Ceara Distrito Federal Espírito Santo Maranhao Paraíba Pernambuco Piauí Rio Grande do Norte Rondonia Santa Catarina Sergipe Tocantins	Bahia Goias Mato Grosso do Sul Minas Gerais Paraná Rio Grande do Sul	Alagoas Amazonas Ceará Distrito Federal Espírito Santo Maranhão Paraíba Pernambuco Rio Grande do Norte Santa Catarina Sergipe	Amazonas Bahia Goias Maranhão Mato Grosso do Sul Paraná Rio Grande do Sul Rio de Janeiro Santa Catarina Tocantins
Emissões (tCO₂e)	524.228.209	603.834.214	394.323.600	560.410.013	398.285.080	21.418.848.893
3	Ceará Maranhão Pernambuco Piauí Santa Catarina Tocantins	Bahia Goias Mato Grosso do Sul Parana Rio Grande do Sul	Minas Gerais Rio de Janeiro Sao Paulo	Mato Grosso Pará	Rio de Janeiro São Paulo	Minas Gerais Rondônia São Paulo
Emissões (tCO₂e)	363.389.291	423.607.829	383.362.618	484.189.027	219.688.945	13.330.480.711
4	Acre Alagoas Amapá Amazonas Distrito Federal Espírito Santo Paraíba Rio Grande do Norte Rio de Janeiro Rondônia Roraima Sergipe	Acre Alagoas Amapa Amazonas Ceará Distrito Federal Espírito Santo Paraíba Pernambuco Piauí Rio Grande do Norte Rio de Janeiro Roraima Santa Catarina Sergipe Tocantins	Acre Amapa Roraima	Rio de Janeiro São Paulo	Acre Amapá Piauí Roraima	Acre Alagoas Amapá Ceará Distrito Federal Espírito Santo Paraíba Pernambuco Piauí Rio Grande do Norte Roraima Sergipe
Emissões (tCO₂e)	235.052.320	329.286.255	34.581.319	232.032.720	140.482.097	5.141.113.553
Total emissões (tCO₂e)	1.774.532.166	2.108.184.405	1.594.261.309	1.882.531.721	2.050.843.965	61.698.803.844

Fonte: Elaboração dos autores a partir dos dados do SEEG.

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 CO₂e são as variáveis de agrupamento. Obteve-se o seguinte resultado: o 1º cluster apresentou o agrupamento dos três setores que mais emitiram CO₂, 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.

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 CO₂e 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 tCO₂e, emitindo quase 1.000 vezes (952) mais que a unidade federativa com a menor emissão desse setor, o Distrito Federal, 10.670.557 tCO₂e.

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 tCO₂e; e o Distrito Federal, com menor emissão, correspondente a 10.974.669 tCO₂e 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 tCO₂e; e Roraima com as menores emissões do setor, 14.239.823 tCO₂e.

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^a 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^a colocação das emissões no Rio de Janeiro.

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

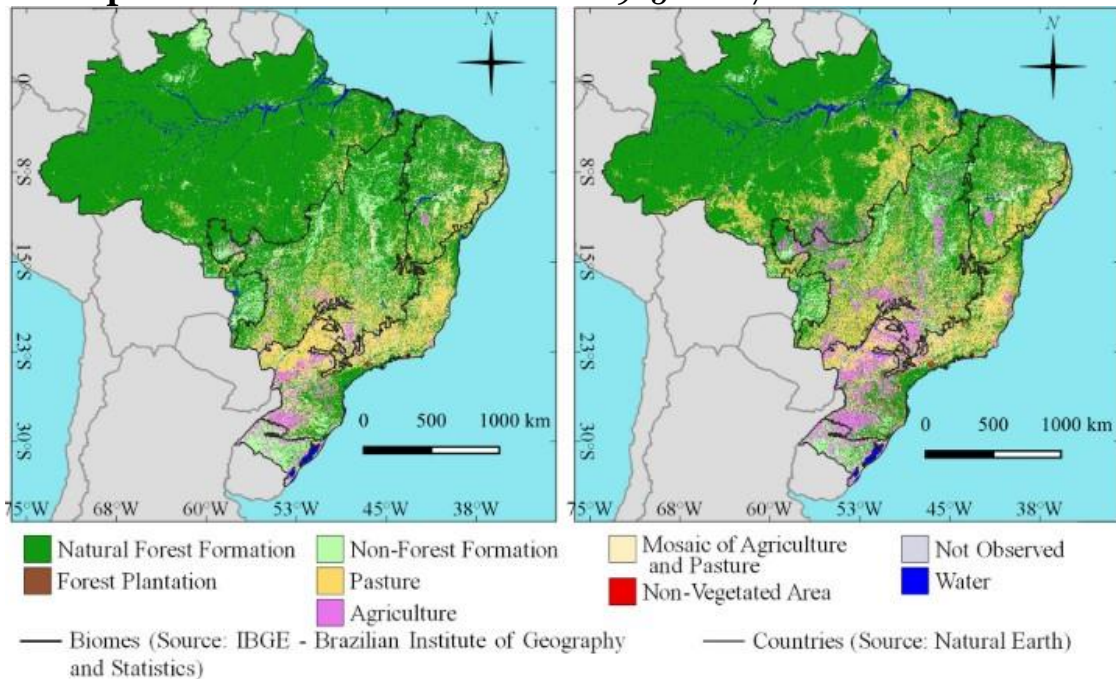
Estado	Área total estado	Área dos estabelecimentos agropecuários	Produção de soja	Produção de cana-de-açúcar	Produção Milho	Bovinos	Produção de leite de vaca	Aves	População
	Km ²	Km ²	Toneladas	Toneladas	Toneladas	Cabeças	Litros	Cabeças	Pessoas
Pará	1.245.870,71	284.000	1,2 milhão	913 mil	553,7 mil	14,3	647	29,3	8.777.124
Mato Grosso	903.207,05	549.000	29,8	16,3 milhões	28,6	24,3	760	53,5	3.567.234
Mato Grosso do Sul	357.147,99	305.000	8,1 milhões	50,5 milhões	9,2 milhões	19,5	424	28,3	2.839.188
Amazonas	1.559.167,88	40.000	x	271 mil	9,9 mil	1,3 milhão	65 milhões	4,3 milhões	4.269.995
Bahia	564.760,43	280.000	5 milhões	3,7 milhões	2,2 milhões	8,2 milhões	937	32 milhões	14.985.284
Goiás	340.242,85	263.000	10,2	73 milhões	10,5	17,3	2,7 bilhões	91,6	7.206.589
Maranhão	329.651,50	122.000	1,9 milhão	2,1 milhões	1,4 milhão	5,4 milhões	188	9,6 milhões	7.153.262
Paraná	199.298,98	147.000	15,3	37,8 milhões	14 milhões	8,4 milhões	3,3 bilhões	333	11.597.484
Rio Grande do Sul	281.707,15	217.000	17 milhões	446,4 mil	5,4 milhões	11,5 milhões	4 bilhões	155 milhões	11.466.630
Rio de Janeiro	43.750,43	24.000	x	1,7 milhão	7,9 mil	2 milhões	512	11 milhões	17.463.349
Santa Catarina	95.730,68	64.000	2 milhões	106,4 mil	3 milhões	3,7 milhões	2,8	160	7.338.473
Tocantins	277.423,63	152.000	2 milhões	2,4 milhões	732,8 mil	6,5 milhões	236,5	7,1 milhões	1.607.363
Minas Gerais	586.513,99	382.000	4,7 milhões	66 milhões	6 milhões	19,6	8,7 bilhões	113 milhões	21.411.923
São Paulo	248.219,48	165.000	2,8 milhões	348 milhões	3,6 milhões	8,3 milhões	1,5 bilhão	177,6	46.649.132
Rondônia	237.765,35	92.000	800 mil	83,7 mil	647 mil	10 milhões	900	6,3 milhões	1.815.278
Acre	164.173,43	42.000	x	3,9 mil	59 mil	2,1 milhões	38 milhões	2,3 milhões	906.876
Alagoas	27.830,66	16.000	814	14 milhões	37,3 mil	786 mil	189	3,9 milhões	3.365.351
Amapá	142.470,76	15.000	33,5 mil	1,2 mil	1,3 mil	36,5 mil	1,5 mil	212 mil	877.613
Ceará	148.894,44	69.000	1,1 mil	110 mil	241 mil	1,9 milhão	607	28,6	9.240.580
Distrito Federal	5.760,78	2.570	244 mil	4,9 mil	299 mil	63 mil	20 milhões	12 milhões	3.094.325
Espírito Santo	46.074,45	32.500	8	2 milhões	37,8 mil	1,6 milhão	400	35 milhões	4.108.508
Paraíba	56.467,24	34.000	x	5,1 milhões	36,5 mil	1 milhão	216	12,1	4.059.905
Pernambuco	98.067,88	45.000	7	10,3 milhões	55,3 mil	1,3 milhão	521	34 milhões	9.674.793
Piauí	251.755,49	100.000	2 milhões	903,2 mil	1,4 milhão	1,4 milhão	97 milhões	10,5	3.289.290
Rio Grande do Norte	52.809,60	27.000	x	2 milhões	21,3 mil	758 mil	228	5,6 milhões	3.560.903
Roraima	223.644,53	26.000	80,4 mil	2,4 mil	16,4 mil	681 mil	18,8	1 milhão	652.713
Sergipe	21.938,18	15.000	x	1,8 milhão	158 mil	887 mil	270	4,7 milhões	2.338.474
Brasil	8.510.345,54	3.510.000	103	639	88	173	30	1,36	213.317.639

Fonte: Elaboração dos autores a partir dos dados do IBGE.

Análise da cobertura e uso da terra no país

O Mapa 1 demonstra com suas imagens as 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 tCO₂e, e 2003 a maior emissão de 2.973.289.766 tCO₂e, que respectivamente foram os anos com as menores e as maiores taxas de desmatamento.

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:

- a) 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^a posição do efetivo de bovinos e a 10^a 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 km², seguido do Mato Grosso com 1.779 km² 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.
- b) Cluster 2: Composto por 10 estados, que são os estados que na classificação das emissões totais por estado ocupam da 6^a a 16^a 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

- 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^a posição na quantidade de leite de vaca produzido. Mato Grosso do Sul que ocupa a 3^a posição no efetivo do rebanho bovino; Goiás ocupa a 2^a 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 Km² em 2019, é o 3^o estado que mais tem desmatado no país com base nos anos de 2019 e 2020 (INPE, 2021);
- c) Cluster 2: Composto por 10 estados, que são os estados que na classificação das emissões totais por estado ocupam da 6^a a 16^a 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 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^a posição na quantidade de leite de vaca produzido. Mato Grosso do Sul que ocupa a 3^a posição no efetivo do rebanho bovino; Goiás ocupa a 2^a 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 Km² em 2019, é o 3^o estado que mais tem desmatado no país com base nos anos de 2019 e 2020 (INPE, 2021);
- d) 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. A principal atividade econômica vinculada às altas emissões é a agropecuária, onde o Brasil é atualmente uma potência do agronegócio mundial, com destaques e liderança nas produções e exportações de grãos, de rebanho bovino e de carne bovina, este avanço do país na agropecuária é percebido também no estudo de Souza *et al.* (2020) que confirma a mudança de uso do solo de grande parte das florestas para utilização da agropecuária. Percebe-se que os estados que são os maiores produtores da agropecuária estão entre os 10 estados que mais emitem CO₂ no país, exceto o estado do Pará. O estado do Pará é o maior emissor de GEE devido ao desmatamento, sendo o estado com as maiores taxas de desmatamento do período analisado.

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, uma vez que os clusters são com base nas emissões de GEE e os estados dentro de um mesmo cluster se diferenciam em função das suas atividades econômicas predominantes e de liderança frente ao cenário nacional, como é o caso de São Paulo, Minas Gerais e Rondônia que formam o 3º cluster. São Paulo tem as maiores emissões de GEE no setor de Energia que tem as atividades econômicas, associadas a este setor, de transportes de carga e passageiro, produção de combustíveis e geração de energia. Minas Gerais tem as maiores emissões de GEE no setor de Agropecuária ligados às atividades econômicas dos sistemas agrícolas, de culturas e produção animal. Rondônia tem suas maiores emissões de GEE no setor de Mudança de uso do solo, que 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, neste caso, percebe-se que, as emissões de GEE dentro do estado ligadas diretamente as atividades da

Agropecuária são muito inferiores ao do setor de Mudança de uso do solo, o maior causador das emissões de GEE dentro do estado é o desmatamento, que nem sempre pode ser associado as atividades produtivas e de geração econômica da Agropecuária, como os dados demonstraram neste estado.

Percebe-se que, as ações antrópicas no Brasil, principalmente as ligadas ao desmatamento que representam cerca de 57% das emissões totais de GEE do país, e a concentração desta prática ilegal nos estados do Pará, Mato Grosso, Rondônia e Amazonas que emitem 67,64% das emissões de GEE do setor de Mudança de uso do solo, provocam uma grande degradação ambiental e que promovem o aumento das emissões de GEE, que causam o aumento do aquecimento global e as suas consequências de profundas alterações do clima poderão induzir a insustentabilidade de condições de vida na Terra. As transformações climáticas poderão levar milhões de pessoas para a miséria e má nutrição em função das quedas de produção agrícola.

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 e CORAZZA, 2017).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

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 CO₂ da atmosfera, evitando assim o equilíbrio natural e o ciclo do CO₂. 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 os estados brasileiros se diferenciam entre si, em relação à emissão de gases de efeito estufa, em função das atividades econômicas que predominam nestes estados.

A problemática do crescimento das emissões de GEE no país 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, corroborando com Nascimento *et al.* (2019) na afirmação que é necessário agir de forma rígida contra o desmatamento e as queimadas no Brasil. 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. E enquanto no mundo, segundo o relatório do IPCC 2019, os setores da Agropecuária e Mudança no uso dos solos representam 23% das emissões de GEE, no Brasil estes setores representam 78% das emissões totais de GEE. O problema das emissões de GEE do país está bem focado e centralizado, e o Brasil tem potencial para fazer as reduções necessárias de emissões de GEE.

O trabalho analisou as emissões totais em nível Brasil, possibilitando a visualização da posição de todos os estados dentro do cenário nacional e 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.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, T. R. *et al.* SEEG initiative estimates of Brazilian greenhouse gas emissions from 1970 to 2015. **Nature, Scientific Data**, [s.l.], v. 5, n. 1, p.1–43, maio 2018. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/sdata201845>. Acesso em: 20 nov. 2020.

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

FÁVERO, L. P. *et al.* **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**, [s.l.], v. 10, n.4, p.261–272, jul. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2019.004.0020>. Acesso em: 20 nov. 2020.

FIGUEIREDO FILHO, D. B. *et al.* Happy together: como utilizar análise fatorial e análise de cluster para mensurar a qualidade das políticas públicas. **Teoria & Sociedade**, [s.l.], v. 22, n. 2, p.123–152, mar. 2015.

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. **As transformações do território brasileiro nos últimos 36 anos**. Disponível em: https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/Fact_Sheet_Colec%CC%A7a%CC%830_6_Agosto_2021_27082021_OK_ALTA.pdf. Acesso em: 28 out. 2021.

NASCIMENTO, M. J. G. *et al.* Monitoramento ambiental Impactos ambientais movidos pelo desmatamento sucessivo da Amazônia Legal. **Brazilian Journal of Development**. Curitiba, v. 5, n. 12, p.33157–33167, 2019. Disponível em: <https://brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/5765/5199>. Acesso: 10 jan. 2021.

R CORE TEAM. **R**: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2020. URL <https://www.R-project.org/>. Acesso: 15 nov. 2021.

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

SOUZA, C. M. *et al.* 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, p.1-27, jul. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/RS12172735>. Acesso em: 08 fev. 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, v. 42, n. 1, p.52–80, dez. 2017. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/made/article/download/51298/34446>. Acesso em: 08 fev. 2021.

Recebido em 13 de Abril de 2022

Aceito em 22 de Julho de 2022