



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS DE CHAPADINHA
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA



ELINALVA CONCEIÇÃO DA SILVA

**MUDANÇA DE USO DA TERRA E FLORESTAS: PANORAMA E TENDÊNCIAS
DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO LESTE MARANHENSE**

CHAPADINHA - MA

2024

ELINALVA CONCEIÇÃO DA SILVA

**MUDANÇA DE USO DA TERRA E FLORESTAS: PANORAMA E TENDÊNCIAS
DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO LESTE MARANHENSE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal do Maranhão como um dos pré-
requisitos para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Agrícola.

Orientadora: Prof^a Dr^a Daiane Fossatti Dall'Oglio

Coorientador: Wellington Cruz Corrêa

CHAPADINHA-MA

2024

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Silva, Elinalva Conceição da.

MUDANÇA DE USO DA TERRA E FLORESTAS: PANORAMA E
TENDÊNCIAS DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO LESTE
MARANHENSE / Elinalva Conceição da Silva. - 2024.
57 f.

Coorientador(a) 1: Wellington Cruz Corrêa.

Orientador(a): Daiane Fossatti Dall'oglio.

Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do
Maranhão, Centro de Ciências de Chapadinha, 2024.

1. Desmatamento. 2. Panorama de Emissões. 3.
Aquecimento Global. 4. Mudanças Climáticas. 5. . I.
Corrêa, Wellington Cruz. II. Dall'oglio, Daiane Fossatti.
III. Título.

ELINALVA CONCEIÇÃO DA SILVA

MUDANÇA DE USO DA TERRA E FLORESTAS: PANORAMA E TENDÊNCIAS DAS EMISSIONES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO LESTE MARANHENSE

Monografia submetida ao corpo docente da Universidade Federal do Maranhão / Centro de Ciências de Chapadinha, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Data de aprovação: 20/ 08 / 2024

Nota: 9,4

Aprovado por:

Prof^a. Dr^a. Daiane Fossatti Dall'Oglio – (Orientadora)

Licenciatura e Bacharelado em Química pela faculdade Unicentro
Mestrado em Química pela Universidade Federal do Paraná (UFPR)
Doutorado em Química pela Universidade Federal do Piauí (UFPI)
Professora do curso de Engenharia Agrícola- (CCCh-UFMA)

Prof^o. Dr^o. Aldair de Souza Medeiros – (Avaliador)

Licenciatura em Ciências Agrárias pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)
Doutor em Agronomia (produção verde) pela Universidade Federal de Alagoas – (UFAL)
Professor do Curso de Engenharia Agrícola – (CCCh-UFMA)

Prof^o. Dr^o. Pedro Augusto de Oliveira Moraes – (Avaliador)

Bacharelado em Química pela Universidade Federal de Goiás – (UFG)
Mestrado em Química pela Universidade Federal de Goiás – (UFG)
Doutorado em Química pela Universidade Federal de Goiás – (UFG)
Professor do Curso de Engenharia Agrícola – (CCCh-UFMA)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, pois sempre estive e está ao meu lado, por ser meu alicerce em toda minha jornada e nunca me desamparar, sem Deus jamais conseguiria chegar até aqui, gratidão eterna.

Agradeço a minha família, em especial a minha mãe, que sempre estive ao meu lado me apoiando, sempre presente em cada momento que precisei, e jamais deixou que me faltasse nada durante a minha vida e minha jornada acadêmica, gratidão, minha rainha.

Agradeço ao meu esposo, Diego Araujo, por todo apoio e suporte durante este percurso da minha vida, amo você.

Agradeço os meus queridos amigos, Adriana Costa, Luiziane Sousa e Wilke Oliveira, pela parceria durante estes anos, jamais esquecerei cada um de vocês, são amigos que levarei para a vida. Todos os momentos que passamos juntos jamais foram em vão e sei que Deus preparou algo maravilhoso para cada um de nós, desejo muito sucesso a cada um de vocês.

A minha sogra, Antonia Maria, que me ajudou muito, cuidando da minha pequena Maria Helena, para que eu pudesse ir a Universidade, gratidão.

A minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Daiane Fossati Dall'Oglio, por me orientar neste trabalho, e sempre acreditar no meu potencial, obrigada por todas as oportunidades na qual me concedeu dentro da Universidade, conhecimentos compartilhados, conselhos e seus ensinamentos, minha eterna gratidão.

Ao meu coorientador, Wellington Cruz Corrêa, obrigada por tudo, todo suporte e todos os conhecimentos compartilhados, você foi essencial para a conclusão deste trabalho, gratidão.

Agradeço a banca avaliadora que dedicou tempo e esforço para a análise e apreciação do trabalho.

Aos docentes deste Campus, por todos esses anos de ensinamentos compartilhados, e até mesmo conselhos que levarei para a vida, gratidão.

Aos demais colegas e servidores administrativos do Centro de Ciências de Chapadinha, que direta e indiretamente colaboraram durante todo meu período de graduação. Obrigada!

Por isso não tema, pois estou com você; não tenha medo, pois sou o seu Deus. Eu o fortalecerei e o ajudarei; Eu o segurarei com a minha mão direita vitoriosa.

Isaías 41:10

RESUMO

As emissões de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil atingiram os maiores níveis dos últimos anos. O Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) divide as emissões totais em cinco setores: resíduos, processos industriais, energia, agropecuária e mudanças de uso das terras e florestas (MUTF). Sendo assim, objetivo com este estudo foi analisar o panorama e tendências das emissões de GEE do setor de MUTF no Leste Maranhense entre 1990 a 2022. Os dados foram adquiridos da plataforma SEEG para todos os municípios do Maranhão, agrupados de acordo com a mesorregião a qual pertencem. Para a análise de tendência das emissões anuais de GEE, aplicou-se os testes estatísticos Mann-Kendall, teste de inclinação de Sen e o teste de Pettitt. O Leste Maranhense foi o que menos emitiu GEE dentro do período analisado em relação às demais mesorregiões do Maranhão; a microrregião de Chapadinha foi a quarta que mais emitiu GEE; e o município de Buriti foi o maior emissor na microrregião de Chapadinha. O Leste Maranhense é a mesorregião com a maior tendência de aumento das emissões de GEE no Maranhão, com o comportamento das emissões apresentando mudança abrupta a partir de 2004; todas as microrregiões do Leste Maranhense estão com tendência significativa de aumento das emissões, com a maioria das mudanças abruptas ocorrendo a partir dos anos de 2002 e 2004; todos os municípios da microrregião de Chapadinha estão com tendência significativa de aumento nas emissões, com a mudança de comportamento ocorrendo a partir dos anos de 2004, 2005 e 2006. Assim, os conhecimentos científicos gerados neste estudo podem servir de base para melhorar e formular políticas ambientais que busquem mitigar as emissões de GEE no Leste Maranhense, contribuindo no combate contra as mudanças climáticas.

Palavras-chave: Desmatamento; Panorama de emissões; Aquecimento global; mudanças climáticas.

ABSTRACT

Greenhouse gas (GHG) emissions in Brazil have reached their highest levels in recent years. The Greenhouse Gas Emissions and Removals Estimation System (SEEG) divides total emissions into five sectors: waste, industrial processes, energy, agriculture and land and forest use changes (MUTF). Therefore, the objective of this study was to analyze the panorama and trends of GHG emissions from the MUTF sector in Eastern Maranhão between 1990 and 2022. The data was acquired from the SEEG platform for all municipalities in Maranhão, grouped according to the mesoregion to which they belong. To analyze the trend of annual GHG emissions, the Mann-Kendall statistical tests, Sen's slope test and the Pettitt test were applied. Leste Maranhão was the one that emitted the least GHG within the period analyzed in relation to the other mesoregions of Maranhão; the Chapadinha microregion was the fourth with the highest GHG emissions; and the municipality of Buriti was the largest emitter in the Chapadinha microregion. Leste Maranhense is the mesoregion with the greatest tendency to increase GHG emissions in Maranhão, with the behavior of emissions showing an abrupt change from 2004 onwards; all micro-regions in Eastern Maranhão are showing a significant trend towards increasing emissions, with most of the abrupt changes occurring from 2002 and 2004 onwards; all municipalities in the Chapadinha microregion are showing a significant trend towards an increase in emissions, with changes in behavior occurring from 2004, 2005 and 2006 onwards. Thus, the scientific knowledge generated in this study can serve as a basis for improving and formulating policies environmental initiatives that seek to mitigate GHG emissions in Eastern Maranhão, contributing to the fight against climate change.

Keywords: Logging; Emissions overview; Global warming; climate change.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Maiores e menores emissões de gases de efeito estufa (em tCO ₂ e) do setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas nas cinco mesorregiões do estado do Maranhão entre 1990 e 2022.	30
Tabela 2. Maiores e menores emissões de gases de efeito estufa (em tCO ₂ e) do setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas nas microrregiões do Leste Maranhense entre 1990 e 2022.	33
Tabela 3. Maiores e menores emissões de gases de efeito estufa (em tCO ₂ e) do setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas nos municípios da microrregião de Chapadinha entre 1990 e 2022.	36
Tabela 4. Valores das estatísticas do teste Mann-Kendall e Sen para as emissões de GEE do setor de MUTF nas mesorregiões do estado do Maranhão entre 1990 e 2022.....	37
Tabela 5. Valores das estatísticas do teste de Pettitt para as emissões de GEE do setor de MUTF nas mesorregiões do estado do Maranhão entre 1990 e 2022.	38
Tabela 6. Valores das estatísticas do teste Mann-Kendall e Sen para as emissões de GEE do setor de MUTF nas microrregiões do Leste Maranhense entre 1990 e 2022.	41
Tabela 7. Valores das estatísticas do teste de Pettitt para as emissões de GEE do setor de MUTF nas microrregiões do Leste Maranhense entre 1990 e 2022.....	42
Tabela 8. Valores das estatísticas do teste Mann-Kendall e Sen para as emissões de GEE do setor de MUTF nos municípios da microrregião de Chapadinha entre 1990 e 2022.	45
Tabela 9. Valores das estatísticas do teste de Pettitt para as emissões de GEE do setor de MUTF nos municípios da microrregião de Chapadinha entre 1990 e 2022.....	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ranking de emissões de gases de efeito estufa dos estados brasileiros no ano de 2022.	18
Figura 2: Ranking de emissões de gases de efeito estufa do setor Mudança de Uso da Terra e Floresta dos estados brasileiros entre 1990 e 2022.....	19
Figura 3: Emissões totais de gases de efeito estufa do setor Mudança de Uso da Terra e Floresta do estado do Maranhão entre 1990 e 2022.	20
Figura 4. Localização do Leste Maranhense e microrregiões, com destaque para a microrregião de Chapadinha.	23
Figura 5. Totais de emissão de gases de efeito estufa (em tCO ₂ e) do setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas por mesorregião do estado do Maranhão entre 1990 e 2022.....	28
Figura 6. Evolução das emissões de gases de efeito estufa (em tCO ₂ e) do setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas nas cinco mesorregiões do estado do Maranhão entre 1990 e 2022.	29
Figura 7. Totais de emissão de gases de efeito estufa (em tCO ₂ e) do setor de Mudança do Uso da Terra e Florestas por município nas microrregiões do Leste Maranhense entre 1990 e 2022.	32
Figura 8. Evolução das emissões de GEE em tCO ₂ e do setor de MUTF nas microrregiões do Leste Maranhense.	34
Figura 9. Totais de emissão de gases de efeito estufa (em tCO ₂ e) do setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas por município na microrregião de Chapadinha entre 1990 e 2022.	34
Figura 10. Evolução das emissões de gases de efeito estufa (em tCO ₂ e) do setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas nos municípios da microrregião de Chapadinha no Leste Maranhense.....	36
Figura 11. Tendência das emissões de gases de efeito estufa do setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas nas mesorregiões Leste, Centro e Oeste do estado do Maranhão entre 1990 e 2022.	40
Figura 12. Tendência das emissões de gases de efeito estufa do setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas entre 1990 e 2022 nas microrregiões de Chapadinha, Caxias, Codó e Chapadas do Alto Itapecuru no Leste Maranhense.	43
Figura 13. Tendência das emissões de gases de efeito estufa do setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas entre 1990 e 2022 nos municípios de Buriti, Chapadinha, Brejo e Urbano Santos (maiores emissores) da microrregião de Chapadinha.	47

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	13
2.1. Geral	13
2.2. Específicos	14
3. REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1. MUDANÇA E USO DA TERRA E FLORESTA	14
3.2. METODOLOGIA DO SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (SEEG)	15
3.3. MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BRASIL	16
3.4. EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO MARANHÃO	17
3.5. ALTERAÇÕES DO USO DA TERRA	20
3.6. PRODUÇÃO AGRÍCOLA NO MARANHÃO E LESTE MARANHENSE	21
4. MATERIAL E MÉTODOS	22
4.1. Área de estudo	22
4.2. Base de dados	23
4.3. Panorama das emissões	24
4.4. Análise de tendência das emissões	24
4.5. Teste Mann-Kendall	24
4.6. Teste de inclinação de Sen	26
4.7. Teste de Pettitt	26
4.8. Taxa de emissões antes e após o ponto de mudança K_T	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5.1. Panorama das emissões de GEE para as mesorregiões maranhenses	27
5.2. Panorama das emissões de GEE para as microrregiões do Leste Maranhense	30
5.3. Panorama das emissões de GEE para os municípios da microrregião de Chapadinha	34
5.4. Análise de tendência das emissões de GEE para as mesorregiões do estado do Maranhão	36
5.5. Análise de tendência das emissões de GEE para as microrregiões do Leste Maranhense	41
5.6. Análise de tendência das emissões de GEE nos municípios da microrregião de Chapadinha	45
6. CONCLUSÃO	48
REFERÊNCIAS	48

1. INTRODUÇÃO

Segundo o Sexto Relatório de Avaliação (AR6) do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima - IPCC (2023) a temperatura média da superfície terrestre, no período de 2011-2020, atingiu 1,1 °C a mais em relação ao período pré-industrial que ocorreu entre (1850-1900). Esse aquecimento é produto inequívoco do uso insustentável e desigual de energia e da terra, bem como mais de um século de queima de combustíveis fósseis, sendo este fator o principal contribuinte para as emissões de gases de efeito estufa (GEE) a nível global. No Brasil, a principal fonte de emissões destes gases é a mudança do uso da terra e floresta (MUTF). Tais práticas resultam na emissão de bilhões de toneladas de GEE para a atmosfera a cada ano, trazendo como consequência o aumento da temperatura média e do nível do mar, perda da biodiversidade e de serviços ecossistêmicos, alteração nos regimes de chuvas e intensificação dos desastres naturais (Quintão *et al.*, 2021).

O aumento das emissões de GEE é uma preocupação mundial, especialmente nas últimas décadas, pela acentuação das mudanças do clima. Em virtude disso, Estados Unidos, União Europeia e Brasil, três dos sete maiores emissores de GEE no mundo (Brito, 2021), se comprometeram em zerar as emissões desses gases (neutralidade climática) até 2050. Na 26ª Conferência entre as Partes (COP26), no setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas (MUTF), o Brasil se comprometeu em reduzir o desmatamento ilegal em 15% por ano até 2024, a partir de 2022, 40% em 2025 e 2026, e 50% em 2027, atingindo a meta de zerar o desmatamento ilegal em 2028, além de promover a restauração e reflorestamento de 18 milhões de hectares de floresta, para múltiplos usos, até o ano de 2030 (Brasil, 2022). De acordo com Tsai *et al.* (2023), o Brasil emitiu 2,3 bilhões de toneladas brutas de GEE em dióxido de carbono equivalente (CO₂e) no ano de 2022, sendo 48% desse total derivado do setor de MUTF, o principal emissor. Ainda, para o estado do Maranhão, desde 1990 a 2022 o setor de MUTF é o principal emissor de GEE (SEEG, 2024).

No Brasil, a plataforma SEEG (Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa) é uma iniciativa do Observatório do Clima, sendo a principal fonte de dados de emissões GEE, abrangendo, além do setor de MUTF, os setores da Agropecuária, Energia, Processos Industriais e Resíduos (Azevedo *et al.*, 2018). A equipe responsável pela plataforma SEEG elabora relatórios anuais sobre emissões de GEE para o Brasil. Contudo, tais relatórios trazem basicamente um panorama das emissões de GEE ao nível de Brasil e suas regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul, respectivamente. Vale ressaltar que os dados de emissões de GEE disponibilizados pelo SEEG mostram panorama de emissões e tendências,

tanto a nível estadual, meso e microrregional, uma vez que a plataforma SEEG disponibiliza dados para todos os 5.568 municípios do Brasil.

Neste sentido, no início dos anos 2000, a mesorregião Leste do estado do Maranhão tornou-se o segundo polo da agricultura de grãos em larga escala, com concentração nas microrregiões de Chapadinha e do Baixo Parnaíba Maranhense, com crescente produção de arroz, milho, milheto e, sobretudo, da soja (Holanda, 2008). Silva (2019) enfatiza que a exploração agrícola da região foi responsável pela transformação de ambientes do Cerrado em sistemas agrícolas convencionais, os quais provocam emissões significativas de GEE, além da degradação física, química e biológica de extensas áreas.

Tais análises de tendências geralmente são feitas por meio de testes estatísticos não paramétricos, pois eles não exigem normalidade dos dados e não se baseiam em parâmetros de distribuição, com destaque para os testes Mann-Kendall (MK), inclinação de Sen (Q) e ponto de mudança de Pettitt (K_T) (Kumar; Tischbein; Beg, 2019; Tiwari; Pandey, 2019; Das; Kothari; Pandey, 2024;). Esses testes são capazes de lidar com conjuntos de dados distorcidos, sem ser comprometidos pela presença de “*outliers*”, que são valores atípicos em um conjunto de dados que divergem consideravelmente dos demais valores (Duhan; Pandey, 2013; Mohapatra *et al.*, 2021). O MK verifica se a variável de interesse possui uma tendência monotônica de aumento ou queda ao longo do tempo (Muse; Tayfur; Safari, 2023); Q indica a magnitude e a natureza da tendência (Das; Kothari; Pandey, 2024); e K_T identifica o ponto em que ocorre uma mudança abrupta no comportamento dos dados (Pettitt, 1979), permitindo melhor entendimento sobre a variabilidade da série temporal.

Neste contexto, sendo o setor de MUTF o principal emissor de GEE no Maranhão, é essencial analisar o panorama e as tendências das emissões tanto no nível meso e microrregional, bem como suas implicações para as políticas públicas em prol de um desenvolvimento mais sustentável, frente à necessidade urgente de redução das emissões de GEE preconizadas pelos acordos e políticas internacionais e nacionais para controlar o aquecimento global e amenizar os efeitos das mudanças climáticas.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Analisar o panorama e as tendências das emissões de gases de efeito estufa do setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas no Leste Maranhense, com foco para microrregião de Chapadinha, por meio de dados de emissões anuais disponibilizados pelo SEEG, de 1990-2022.

2.2. Específicos

1. Fazer um comparativo entre os padrões de emissões do Leste Maranhense com as demais mesorregiões do estado do Maranhão;
2. Comparar os padrões de emissões das microrregiões do Leste Maranhense;
3. Analisar os padrões de emissões dos municípios da microrregião de Chapadinha no período considerado.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. SETOR DE MUDANÇA E USO DA TERRA E FLORESTA

A Mudança e Uso da Terra (MUT) está relacionada a forma de ocupação e utilização do solo pelo ser humano. A prática do extrativismo é uma atividade muito antiga que pode ser descrita como a extração de recursos naturais para posterior uso como produtos e/ou benefícios para fins econômicos ou para subsistência. Apesar da indústria extrativista desempenhar um papel crucial no crescimento econômico de um país, ela também traz uma série de problemas ambientais, entre eles estão a degradação da paisagem, erosão, alterações na formação de rochas, poluição e contaminação do lençol freático. Este setor é um dos principais contribuintes para as emissões de gases de efeito estufa (GEE) (Zheng *et al.*, 2023).

Emissões por queima de resíduos florestais são reportadas pelo setor de Mudanças no Uso da Terra e Florestas (MUTF), além das emissões brutas e líquidas de GEE que estão relacionadas ao processo de mudanças dos estoques de biomassa e matéria orgânica existentes no solo e na atmosfera (Zimbres *et al.*, 2024). A contribuição na emissão de GEE, provocado pela MUT, está relacionada aos gases emitidos por desmatamento, queimadas recorrentes, exploração madeireira e inundações por hidrelétricas. As emissões estão sujeitas ao ritmo do desmatamento (que dependem da biomassa nas florestas originais e nas paisagens desmatadas) e dos estoques de carbono nos solos (Fearnside, 2022)

De acordo com o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), iniciativa do Observatório do Clima relacionada à produção de estimativas anuais das emissões de GEE no Brasil, a maior parcela de contribuição brasileira nas emissões totais de GEE é proveniente do setor de Mudanças no Uso da Terra, totalizando 48% das emissões em 2022, ou seja, cerca de 1,12 bilhão de toneladas de dióxido de carbono equivalente (MtCO₂eq) foram lançados naquele ano. Desses 48% totais, 97% correspondem a desmatamento, 5% por queimadas associadas ao desmatamento e 2% por estoque de carbono

orgânico no solo (Tsai *et al.*, 2023). Dentre as regiões brasileiras, a Norte é a principal responsável por emissões relacionadas a este setor (SEEG, 2020).

Segundo o Tsai *et al.* (2023) no ano de 2021 foi registrado aumento de 18,5% nas taxas de emissões de GEE para o setor de MUTF. O desmatamento foi a atividade que mais contribuiu para essa porcentagem, uma vez que era realizado de forma desordenada no bioma Amazônia, sendo ele a principal atividade que compreende a MUTF. Potenza *et al.* (2021) afirma que grande parte das emissões brutas são causadas por alterações de uso da terra chegando a 93%. Entre as atividades emissoras de GEE, a principal é o desmatamento no bioma Amazônia, que no ano de 2022 concentrou 75%, que representa 837 MtCO₂eq das emissões brutas do setor MUTF (Tsai *et al.*, 2023).

3.2. METODOLOGIA DO SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (SEEG)

A metodologia do SEEG baseia-se em diretrizes internacionais, como as do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), para a elaboração de inventários de GEE. Cada ano, o SEEG atualiza suas estimativas utilizando dados provenientes de diversas fontes, incluindo relatórios governamentais, instituições de pesquisa e organizações não governamentais. Essa abordagem multidisciplinar e colaborativa garante a precisão e a confiabilidade das estimativas de emissões por setor econômico e atividade humana no Brasil (Potenza *et al.*, 2021). Os principais setores analisados pelo SEEG incluem energia, agricultura, processos industriais, resíduos e mudança de uso da terra. Cada setor possui características específicas que influenciam suas contribuições para as emissões totais de GEE.

Anualmente, o SEEG publica relatórios que não só quantificam as emissões de GEE, mas também identificam tendências temporais e regionais. Esses relatórios são fundamentais para entender como as políticas públicas e as mudanças econômicas impactam as emissões no Brasil ao longo do tempo. Por exemplo, a análise de longo prazo mostrou que as emissões do setor de energia têm mostrado uma redução gradualmente devido à diversificação da matriz energética e ao aumento das energias renováveis, como energia solar e eólica (Tsai *et al.*, 2023). Com esses dados, o SEEG desempenha um papel essencial no suporte à implementação de políticas públicas voltadas para a mitigação das mudanças climáticas no Brasil. Os dados fornecidos pelo SEEG são utilizados para monitorar o progresso das metas nacionais de redução de emissões e para cumprir compromissos internacionais, como os estabelecidos pelo Acordo de Paris (Brasil, 2020). A transparência e a precisão das estimativas do SEEG são fundamentais

para a prestação de contas e para o desenvolvimento de estratégias de adaptação e mitigação (IPAM, 2020).

No entanto, o SEEG tem enfrentado desafios como a melhoria da precisão das estimativas, a integração de novos dados e a adaptação a mudanças metodológicas. Avanços em sensoriamento remoto, modelagem geoespacial e colaboração interinstitucional têm contribuído para aprimorar a robustez e a eficiência do sistema. A incorporação dessas tecnologias permite uma análise mais detalhada das emissões e remoções de GEE em diferentes escalas geográficas e temporais, aumentando a capacidade de resposta às demandas por informações climáticas mais precisas.

O SEEG disponibiliza dados de emissões desde o ano de 1970 com o intuito de manter a atualização das emissões ou remoções dos gases de efeito estufa. Esses dados podem ser adquiridos de forma on-line, e podem ser utilizados para desenvolvimentos de trabalhos de pesquisas para determinar estimativas de um certo local, pois o SEEG abrange emissões de todo o Brasil.

3.3. MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BRASIL

Em 1988 foi criado o Painel Intergovernamental de mudanças climáticas (IPCC), que mostra como a ciência climática progrediu simbolicamente e confirmou a hipótese de que as alterações climáticas estão relacionadas as ações antrópicas (Marengo; Souza, 2018). As mudanças climáticas são resultadas de grandes concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera, que vem evoluindo desde a revolução industrial com os raios solares que atingem a superfície terrestre e é refletida a atmosfera (Lima; Santos; Lucena, 2024).

O Brasil ocupa a sétima posição no ranking dos maiores emissores globais de GEE, contribuindo com 3% da emissão total, ficando atrás de China (25,2%), Estados Unidos (12%), Índia (7%), União Europeia (6,6%), Rússia (4,1%) e Indonésia (4%) (Potenza *et al.*, 2023).

No País, houve uma diminuição de 8% nas emissões de GEE no ano de 2022 (2,3 bilhões de toneladas brutas) em relação ao ano de 2021 (2,5 bilhões de toneladas). Esta redução se deu principalmente pela diminuição do desmatamento no bioma Amazônia. Vale ressaltar que o desmatamento está relacionado as mudanças de uso da terra, e a mesma está incluída em todos os biomas brasileiros tornando-se responsável por 48% da emissão total nacional, correspondendo a 1,2 bilhão de toneladas brutas em emissões de gás carbônico equivalente (CO₂eq) (Tsai *et al.*, 2023).

Em 2015 o Brasil aceitou o acordo de Paris na 21ª Conferência das Partes (COP 21), desta forma, os encontros com os demais países passaram a ser realizados com a ideia de

colaborar com a NDC (Contribuição Nacionalmente Determinada). Em sua apresentação, o Brasil mostrou uma proposta de reduzir as emissões de GEE em até 37% em comparação ao ano de 2005. Assim, medidas de combate ao desmatamento deveriam ser o primeiro passo para iniciar as reduções nas emissões dos gases de efeito estufa no país, com intuito de cumprir os acordos internacionais. Em 2023 o novo Governo Federal se propôs em reduzir a retirada da vegetação natural no Bioma Amazônia e zerar a atividade de desmatamento ilegal até o ano de 2030 (Brasil, 2023).

Essa preocupação é justificada pelo aumento da frequência de eventos climáticos desastrosos como alagamentos e temperaturas extremas. A agricultura e pecuária são responsáveis por 37% das emissões de GEE, dentre eles o dióxido de carbono e o metano. Em vista disso, é importante que toda biomassa que seja potencial geradora de GEE seja tratada, transformada e reaproveitada, como por exemplo uso de resíduo suíno para produzir energia e o manejo de pastagens para sequestro de carbono no solo, promovendo a sustentabilidade e a preservação ambiental (Gelinski; Gelinski; Gelinski, 2019; Almeida *et al.*, 2020).

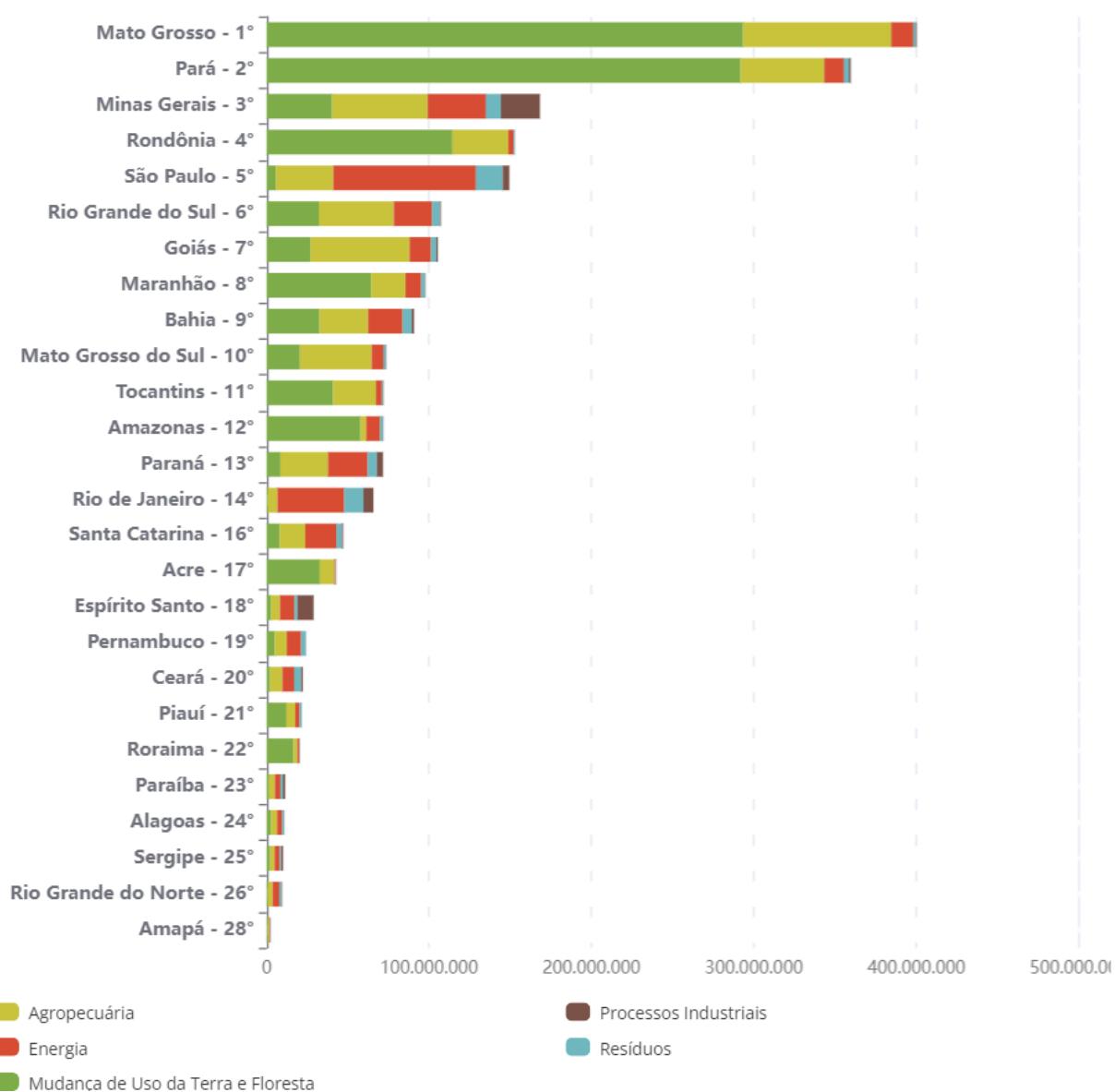
3.4. EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO MARANHÃO

A temperatura da superfície terrestre vem aumentando cada vez mais, por consequências das emissões de gases de efeito estufa, desta forma, vem chamando a atenção da sociedade em relação os riscos que o aquecimento global pode causar no planeta (Melo; Sinfrônio, 2018), dentre os principais gases, estão o dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (NO₂) e metano (CH₄) (Pires, 2021).

De acordo com a nona edição do SEEG, o estado do Maranhão ocupa a 8ª posição entre os estados que mais emitem GEE, em relação as emissões brutas, e ocupa a 10ª posição em relação as emissões líquidas, sendo a MUTF o principal setor responsável pelas emissões no estado durante o ano de 2020 (Potenza *et al.*, 2021). Porém, em 2021 o estado mudou de posição indo para a 5ª em emissões brutas e para a 4ª em emissões líquidas (Tsai *et al.*, 2023), ocupando, assim, o 8º lugar no ranking de 2022, com emissões de 98.360.006 toneladas de GEE.

A (Figura 1), apresenta o ranking de emissões de GEE entre todos os estados brasileiros em 2022, com destaque para o estado do Maranhão que ocupa a 8ª posição. De acordo com dados obtidos na plataforma do SEEG, o setor MUTF é o maior responsável pelas emissões no estado, emitindo 64.473.074 milhões de toneladas GEE em 2022.

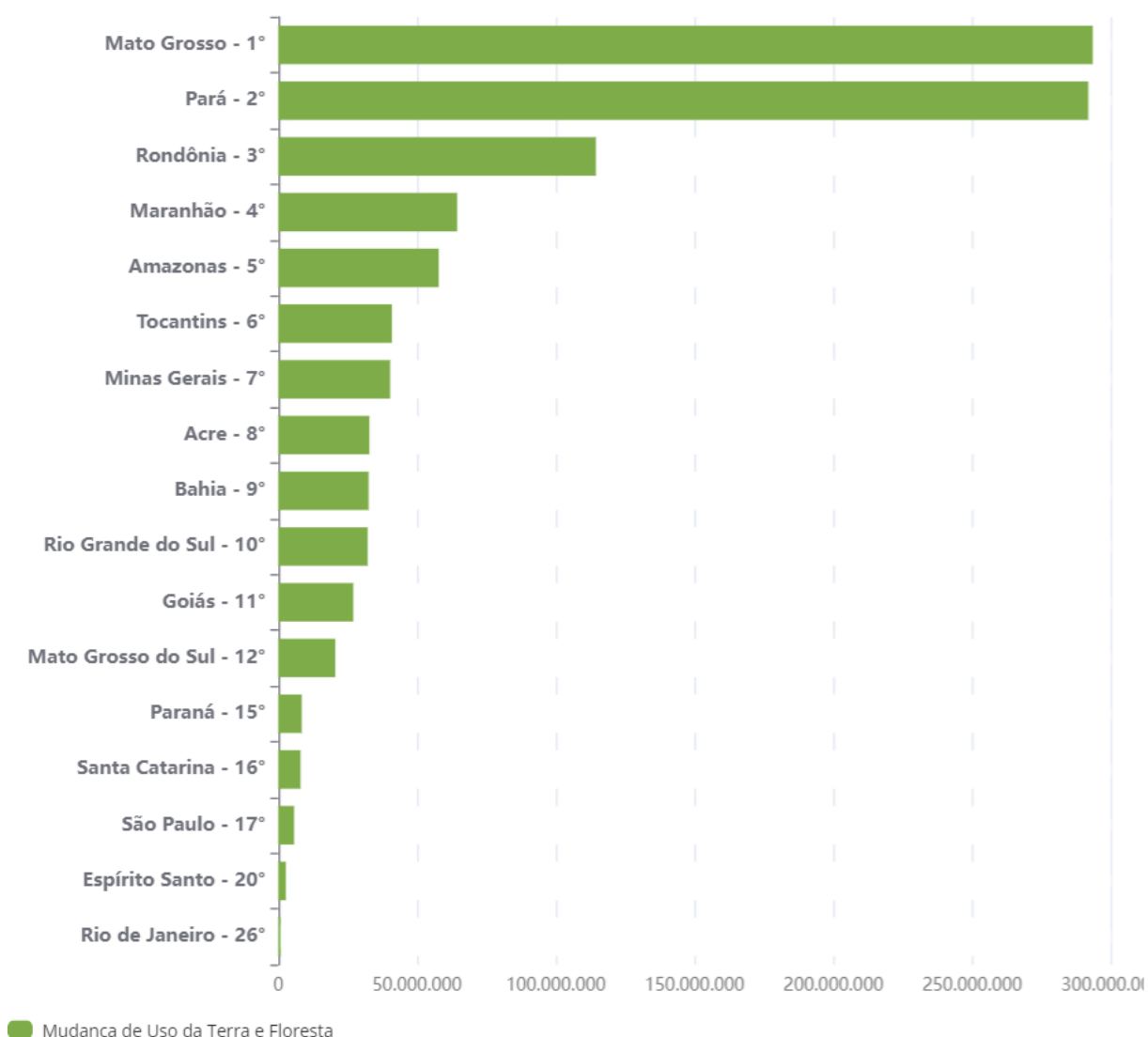
Figura 1. Ranking de emissões de gases de efeito estufa (GEE) dos estados brasileiros em 2022.



Fonte: plataforma.seeg.eco.br

Conhecer a posição do estado do Maranhão em relação a mudança de uso da terra de floresta é de extrema importância, a fim de que sejam tomadas medidas mitigadoras para os efeitos nocivos desse setor. Como mostra a (Figura 2), o Maranhão ocupa o 4º lugar em MUTF ficando atrás apenas dos estados do Mato Grosso, Pará e Rondônia. Tais estados emitiram 293.408.965, 291.818.764, 114. 424.802, 64. 473.047 milhões de toneladas de CO₂e, respectivamente.

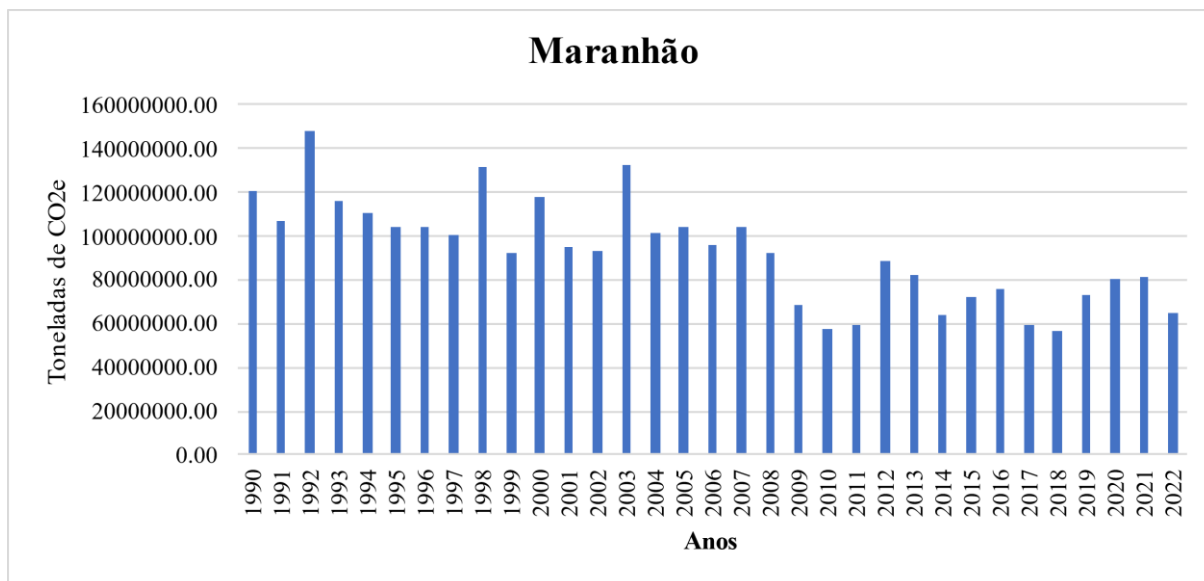
Figura 2. Ranking de emissões de gases de efeito estufa do setor Mudança de Uso da Terra e Floresta dos estados brasileiros entre 1990 e 2022.



Fonte: plataforma.seeg.eco.br

O Maranhão apresentou uma queda em suas emissões totais para o setor de MUTF como mostra a (figura 3). Em 1990 o estado emitiu 147.727.312,59 milhões de toneladas de CO₂e sendo essa o maior valor em 32 anos, por conta do grande avanço da produção agrícola na região Matopiba. Observa-se também que a partir de 2008 a 2022 houve uma redução gradativa dessas emissões, dentre os anos analisados, em que 2018 apresentou a menor emissão com o valor de 56.378.921,38 milhões de toneladas de CO₂e, reforçando a importância do conhecimento desses valores para futuras ações de redução.

Figura 3. Emissões totais de gases de efeito estufa do setor Mudança de Uso da Terra e Floresta do estado do Maranhão entre 1990 e 2022.



Fonte: plataforma.seeg.eco.br

3.5. ALTERAÇÕES DO USO DA TERRA

O conhecimento da mudança do uso da terra vem ganhando cada vez mais espaço atualmente, diante da sustentação das questões ambientais que estão diretamente ligadas a sociedade e a natureza (Abonízio *et al.*, 2023). Diversos são os fatores contribuintes para a atividade do uso e cobertura da terra em diferentes regiões do Brasil, podendo ser mais evidenciado em alguns municípios por conta da produção econômica e histórico de ocupação (Abonízio *et al.*, 2023). As alterações no uso da terra são consideradas como um dos principais causadores das mudanças climáticas globais e ocasionam impactos nos ecossistemas e geossistemas terrestres (Ferreira *et al.*, 2021). Vale ressaltar que a vegetação nativa é protegida pela Lei Nº 12.651 de 25 de maio de 2012 (Código Florestal), a Lei estabelece normas que protegem áreas de reservas legais, controle e prevenção de incêndios florestais entre várias outras medidas com contribuem para a preservação da vegetação natural (Brasil, 2012b).

Segundo Zimbres *et al.* (2024), as modificações relacionadas ao uso da terra representam 93% das emissões de 2022, seguido de uma menor fração de queimas relacionadas ao desmatamento (aproximadamente 5%) e de variações no estoque de carbono orgânico do solo (2%). As remoções brutas no final da série se dão em especial por remoções em áreas de proteção com 61% (386 milhões de toneladas de CO₂eq), seguida de remoções por vegetações secundárias com 38% (241 milhões de toneladas de CO₂eq).

Portanto, as emissões acontecem quando a cobertura da vegetação nativa é retirada, ou seja, a floresta é convertida em pastagem ou para uso de atividades agrícolas. Desta forma, a retirada da vegetação gera emissões de dióxido de carbono (CO₂) por conta da perda do estoque de carbono, além de perder o carbono (C) estocado nos vegetais (Zimbres *et al.*, 2024). Assim, é muito importante utilizar estratégias de monitoramento e políticas que possam contribuir com a diminuição das alterações no uso da terra, de forma que aumente a produtividade sem realizar a abertura de novas áreas de plantio (Resende *et al.*, 2019; Cerqueira e Gomes, 2023).

3.6. PRODUÇÃO AGRÍCOLA NO MARANHÃO E LESTE MARANHENSE

Feitosa *et al.*, (2023), enfatizam que, entre os anos 1940 e 1980, o estado do Maranhão apresentou aumento em relação a sua área de produção, e as principais lavouras daquela época eram as culturas de feijão, arroz, mandioca e milho, que eram cultivados nas Unidades Agrícolas Familiares (UAF).

Até o final da década de 1980, as áreas designadas para o cultivo da soja no estado do Maranhão eram bastantes reduzidas. No ano de 1990 observou-se grande mudança do cultivo de terra usado para o plantio desta cultura. De fato, até o final de 1980 foram registrados, pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), apenas 80 hectares de solo cultivados com a cultura da soja no Maranhão, no entanto na década de 1990 foi uma verdadeira mudança no cultivo dessa *commoditie*, de imediato apenas nos cerrados da região Sul do estado e depois para o Baixo Parnaíba e Leste Maranhense. Em 1995 as áreas ocupadas com a cultura da soja atingiram 87,7 mil hectares no estado, em 2000 178,7 mil hectares e 400 mil hectares em 2020 (IBGE 2020).

Portanto, no estado do Maranhão, a soja apresenta um elevado crescimento e uma expressiva substituição das lavouras tradicionais como arroz, feijão, mandioca e milho, por conta da sua alta demanda de produção. A cada dia são abertas novas áreas para o cultivo desta cultura, com o intuito de suprir as demandas de acordo com o aumento populacional, pois muitos produtos atualmente são derivados da monocultura da soja (Feitosa *et al.*, 2023).

No Maranhão, a região Leste compreende às microrregiões censitárias de Presidente Dutra, Caxias, Chapadinha, Codó, Coelho Neto e Chapadas do Alto Itapecuru e é caracterizada pelos ambientes de matas de palmeiras e do semiárido (Barbosa *et al.*, 2020). É de grande destaque também, nessa região, a área do vale do rio Munim, uma mancha de cerrado que tem sido ocupada por novas chegadas de agricultores, expandindo a área de cultivo da soja, associada à retomada da cotonicultura. Nesta nova área de cultivo, destaca-se o município de Chapadinha, que desfruta de vantagens comparativas, principalmente solos menos ácidos - que

a difere da região de Balsas - e o acesso ao porto de São Luís, que fica a menos de 250 km da cidade (Cruz *et al.*, 2023).

A região sul ainda é a maior responsável pela produção agrícola do estado, mas apesar dos predomínios, verificaram-se tentativas de expansão da soja em outras mesorregiões (Centro e Leste), com destaque para a região Leste maranhense, onde se encontra uma produtividade razoável capaz de incentivar a entrada de novos capitais para as atividades na região (Santos *et al.*, 2008).

Na mesorregião de Chapadinha se destaca o município de Brejo, onde apresenta, desde o final da década de 1990, um acentuado avanço na produção de soja por meio de fazendas monocultoras desse grão (Gomes; Nascimento, 2023). Este município foi o primeiro a cultivar a soja nos anos de 1978, implantando cultivares adaptadas ao clima da região (Silva *et al.*, 2021). A partir dos anos 90 estabeleceram-se na região produtores, principalmente do sul do país, eles produziam arroz e posteriormente a soja, e assim essas atividades começaram a ganhar espaços com ensaios na Fazenda Carro Velho, que fica localizada no município de Anapurus. Estes ensaios consistiam em experimentos relacionados ao desenvolvimento de cultivares que se adaptassem as condições edafoclimáticas do Leste maranhense. Vale lembra que inicialmente era a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) que realizava estes ensaios e posteriormente outras fazendas, criaram parceria com a mesma, tais como fazendas de Brejo e a Fazenda SLC (Chapadinha) (Cruz *et al.*, 2023). Futuramente, a parceria seguiu para a Fazenda Europa, no município de Anapurus, que a partir do ano 2013 se especializou no desenvolvimento de cultivares de soja adaptadas às condições edafoclimáticas da região, com a genética da Sementes Pampeana (Cruz *et al.*, 2023).

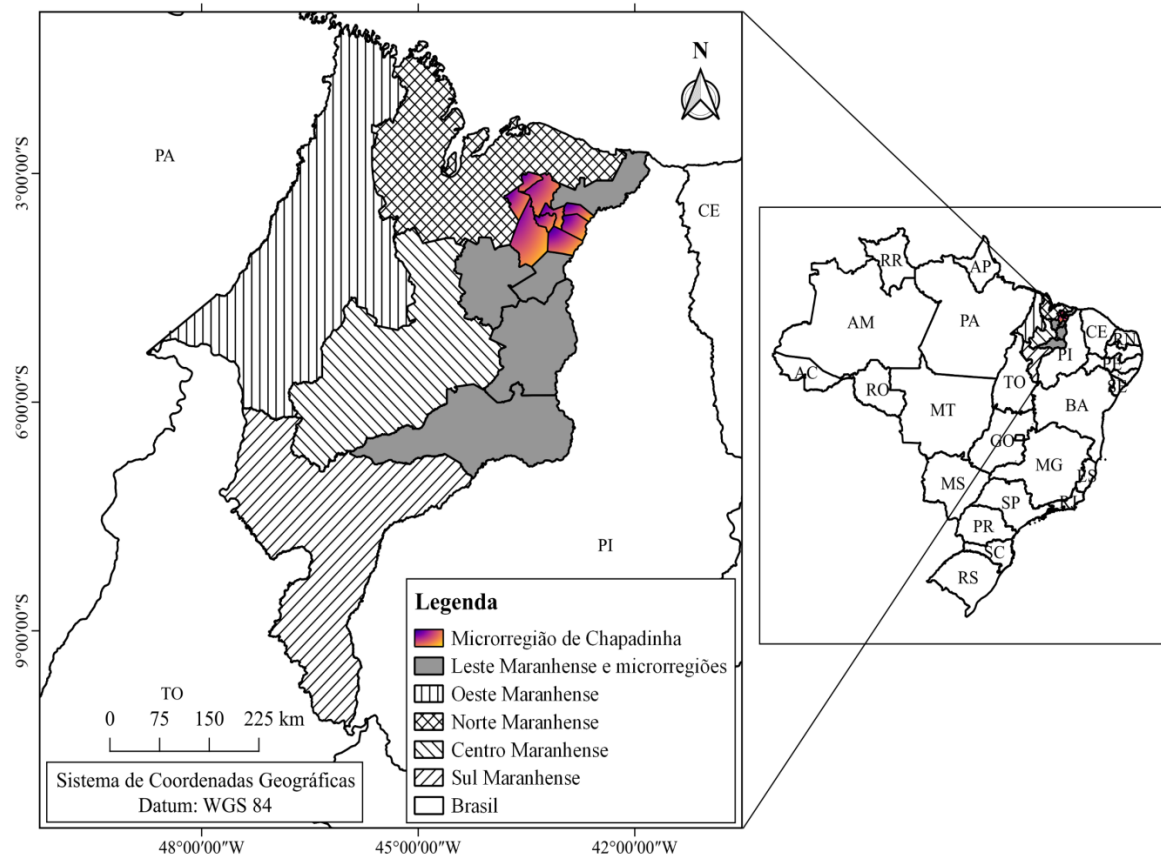
A produção de grãos vem avançando a cada dia na microrregião de Chapadinha. Com isso, é de grande importância desenvolver ações que proporcionem o desenvolvimento do território local promovendo sustentabilidade ambiental e social, atendendo aos parâmetros para a cadeia produtiva da soja. (Moreira *et al.*, 2021).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área de estudo

O estudo foi realizado para a mesorregião Leste do estado do Maranhão, considerando todas as suas microrregiões, mas, com uma abordagem ou análise mais detalhada para a microrregião de Chapadinha (Figura 4), situada entre as coordenadas geodésicas 2° 58' 52"S e 4° 13' 42"S e, 42° 33' 46"W e 43° 48' 21"W (IBGE, 2022).

Figura 4. Localização do Leste Maranhense e microrregiões, com destaque para a microrregião de Chapadinha.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A microrregião de Chapadinha é composta pelos municípios de Anapurus, Belágua, Brejo, Buriti, Chapadinha, Mata Roma, Milagres do Maranhão, São Benedito do Rio Preto e Urbano Santos, possuindo uma área total de 10.797,41 km², equivalente a 15,27% da extensão territorial do Leste Maranhense (IBGE, 2022). Segundo Corrêa; Carvalho e Mendes (2023), o Leste Maranhense conta com os climas Aw e Aw' pela classificação de Köppen, ocorrendo na microrregião de Chapadinha o segundo, com precipitação pluvial anual média variando entre 1600 e 1900 mm (Alvares *et al.*, 2013b; Corrêa; Carvalho; Mendes, 2023) e temperatura do ar anual média oscilando entre 26 °C e 29 °C (Alvares *et al.*, 2013a; Corrêa; Carvalho; Mendes, 2023).

4.2. Base de dados

Os dados anuais de emissão de GEE do setor de MUTF, medidas em Potencial de Aquecimento Global em 100 anos e de acordo com as diretrizes do Sexto Relatório de Avaliação

do IPCC (GWP-100 AR6), foram adquiridos da plataforma SEEG (<https://plataforma.seeg.eco.br/>), entre 1990 e 2022 para todos os 217 municípios do estado do Maranhão, organizados em planilha eletrônica do software Excel do pacote Office da Microsoft®.

O estado do Maranhão possui 5 mesorregiões (IBGE, 2022): o Centro, Leste, Norte, Oeste e Sul Maranhense. Assim, os dados de emissão por município foram alocados em cada mesorregião a qual pertence cada município. Ainda, no Leste Maranhense os dados de emissão de cada município foram alocados em cada microrregião a qual pertence cada município. O Leste Maranhense é dividido em 6 microrregiões (IBGE, 2022), sendo elas: Baixo Parnaíba Maranhense, Chapadinha, Codó, Coelho Neto, Caxias e Chapadas do Alto Itapecuru.

Com estas divisões e subdivisões claramente foi possível comparar o comportamento das emissões do Leste Maranhense com as demais mesorregiões do estado do Maranhão; comparar o comportamento das emissões da microrregião de Chapadinha com as que compõem o Leste Maranhense. Vale ressaltar que a normalidade dos dados foi verificada antes da execução dos parâmetros propostos do trabalho.

4.3. Panorama das emissões

Com os totais de emissões de GEE calculados para as mesorregiões do estado do Maranhão e microrregiões do Leste Maranhense: avaliou-se o panorama das emissões entre as mesorregiões do estado do Maranhão, comparando a mesorregião Leste Maranhense com as demais. Avaliou-se o panorama das emissões das microrregiões do Leste Maranhense, comparando a microrregião de Chapadinha com as demais; e, avaliou-se o panorama das emissões dos municípios que pertencem à microrregião de Chapadinha.

4.4. Análise de tendência das emissões

No “software” R, versão 4.3.2 (R Core Team, 2023), as tendências de emissões de GEE nas mesorregiões do estado do Maranhão, microrregiões do Leste Maranhense e municípios da microrregião de Chapadinha foram analisadas aplicando-se o teste Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975), estimador de inclinação de Sen (Sen, 1968) e o teste de Pettitt (Pettitt, 1979), a 5% de probabilidade, descritos a seguir.

4.5. Teste Mann-Kendall

O teste Mann-Kendall (MK) foi aplicado para detectar as tendências nas séries temporais de emissão de GEE em CO₂e do setor de MUTF entre 1990 e 2022. Trata-se de uma

técnica estatística amplamente utilizada nos mais variados tipos de dados de séries temporais (Atta-ur-Rahman; Dawood, 2017; Kisi *et al.*, 2018; Santos *et al.*, 2018; Santos; do Nascimento; da Silva, 2020; Brasil-Neto *et al.*, 2021; Das *et al.*, 2021;; Mishra *et al.*, 2024), determinando se a variável de interesse possui uma tendência monotônica de aumento ou queda ao longo do tempo (Muse; Tayfur; Safari, 2023), adotando uma hipótese nula (H_0) afirmativa para a não existência de tendência (Shadmani; Marofi; Roknian, 2012). De início calcula-se a estatística de teste (S) da série $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$, por meio da Equação (1).

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(X_j - X_i) \quad (1)$$

Onde, n é o comprimento do conjunto de dados, X_i e X_j são os valores nos tempos i e j , e $\text{sgn}()$ é a função sinal, Equação (2).

$$\text{sgn}(X_j - X_i) = \begin{cases} 1, & \text{se } (X_j - X_i) > 0 \\ 0, & \text{se } (X_j - X_i) = 0 \\ -1, & \text{se } (X_j - X_i) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Se o valor da estatística S for positivo, a variável possui tendência de aumento ao longo do tempo. Quando n é maior do que 0, utiliza-se a Equação (3) (Salas, 1993).

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5) \right] \quad (3)$$

Onde, m refere-se ao número de grupos empatados, e t_i é o número de pontos de dados no grupo de caminhos. De posse de $\text{Var}(S)$, o Z_{KM} padrão pode ser fornecido pela Equação (4) (Shadmani; Marofi; Roknian, 2012).

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & \text{se } S > 0 \\ 0, & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

O Z_{KM} calculado é então comparado com a tabela de distribuição regular padrão com níveis de confiança bicaudais. Se o valor absoluto de Z_{KM} for maior que $Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$, a hipótese nula H_0 é rejeitada, significando existência de tendência significativa. O inverso disto implica na

aceitação de H_0 , quando não há tendência significativa (Muse; Tayfur; Safari, 2023). Neste estudo o nível de 5% de significância foi adotado, equivalente a $Z_{1-\frac{\alpha}{2}} = 1,96$.

4.6. Teste de inclinação de Sen

O teste de inclinação de Sen é comumente utilizado para quantificar a magnitude e a natureza da tendência presente na série de dados (Sen, 1968). O teste é insensível a valores discrepantes (*outliers*) e grandes erros de dados, mostrando uma medida mais real das tendências das series temporais, o colocando em vantagem sobre a regressão linear (Shadmani; Marofi Roknian, 2012; Malik; Kumar, 2020). Portanto, a mediana foi utilizada por ser menos sensível a valores bastante variáveis. Os sinais da inclinação Q (+ ou -), Equação (5), revelam a natureza da tendência, se de aumento ou diminuição.

$$Q = \text{Mediana} \left[\frac{X_j - X_i}{j - i} \right], \forall i < j \quad (5)$$

Onde, X_j e X_i são os valores de ponto de dados no tempo j e i , com $i = 1, 2, 3, \dots, N$, e Q é a magnitude estimada da inclinação de tendência na série temporal.

4.7. Teste de Pettitt

No objetivo de se verificar o ano correspondente em que ocorreu mudança no comportamento das emissões de GEE, aplicou-se o teste de Pettitt (Pettitt, 1979), amplamente utilizado para este fim em séries temporais (Das; Kothari; Pandey, 2024), calculado pela Equação (6).

$$U_t = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^n \text{sgn}(X_j - X_i) \quad (6)$$

Onde, na série temporal de emissão de CO_2 e de comprimento (n), $X_1, X_2, \dots, X_{n-1}$, e X_n são os pontos de dados: e t é o ponto de alteração com maior probabilidade de ocorrer. O ponto t faz a divisão da série temporal em duas partes, com a primeira contendo os valores $X_1, X_2, \dots, X_{t-1}$ e X_t , e a segunda contendo os valores $X_{t+1}, X_{t+2}, \dots, X_{n-1}$ e X_n . O ponto T em que o $|U_t|$ alcança o seu maior valor, é considerado um ponto de mudança significativo, expresso pela Equação (7).

$$K_T = \max_{1 \leq t \leq T} |U_t| \quad (7)$$

Calcula-se a probabilidade aproximada para um teste bilateral a partir da Equação (8), sendo p o nível de significância, K_T o valor crítico e n o número de elementos da série temporal.

$$p = 2\exp^{-\frac{6K_T^2}{n^3+n^2}} \quad (8)$$

4.8. Taxa de emissões antes e após o ponto de mudança K_T

Por fim, na série temporal de emissões que houve tendência significativa de aumento (queda), com ponto de mudança K_T significativo dividindo a série de dados em $X_1, X_2, \dots, X_{t-1}$ e X_t , e $X_{t+1}, X_{t+2}, \dots, X_{n-1}$ e X_n , empregou-se a mediana (Me) como medida de tendência central para se determinar as variações (%) entre o valor central de emissão anual antes (mediana 1 – Me1) e depois (mediana 2 – Me2) de K_T .

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Panorama das emissões de GEE para as mesorregiões maranhenses

Dentre as cinco mesorregiões que compõem o estado do Maranhão, as mesorregiões Oeste, Norte e Centro são as que mais emitiram GEE derivados do setor de MUTF entre 1990 e 2022, com destaque para a mesorregião Oeste, que emitiu 59,39% do total, correspondente a ~1,81 bilhões de toneladas brutas de CO₂e (Figura 5).

A mesorregião Leste foi a que menos emitiu CO₂e no período analisado (Figura 5), respondendo por ~181,01 milhões de toneladas de CO₂e (MtCO₂e), ou seja 5,93%. O que pode explicar o fato desta mesorregião ser a menor emissora é que, apesar de seu avanço no extrativismo, são adotadas boas práticas agronômicas como: rotação de culturas; manutenção da cobertura do solo e a utilização do Sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP). Essas práticas promovem pontos positivos para o solo, como a utilização da mesma área para produção vegetal e animal, que garante uma maior produtividade e a melhoria das condições edáficas. Este sistema conservacionista reduz a perda de carbono no solo após a mudança do uso da terra (MUT), contribui com a manutenção e aumento da matéria orgânica no solo (MOS) e reduz as emissões de GEE (Lal, 2004; Cosser *et al.*, 2018; Salton *et al.*, 2014; Sant-Anna *et al.*, 2017; Siqueira-Neto *et al.*, 2020; Pires, 2021).

A produção de soja na mesorregião Sul maranhense é considerada recente, com os primeiros registros estatísticos datando de 1970. No entanto, houve um aumento na abertura de novas áreas que, de acordo com Baptista (2015), modificou 40% do cerrado. O valor de emissão

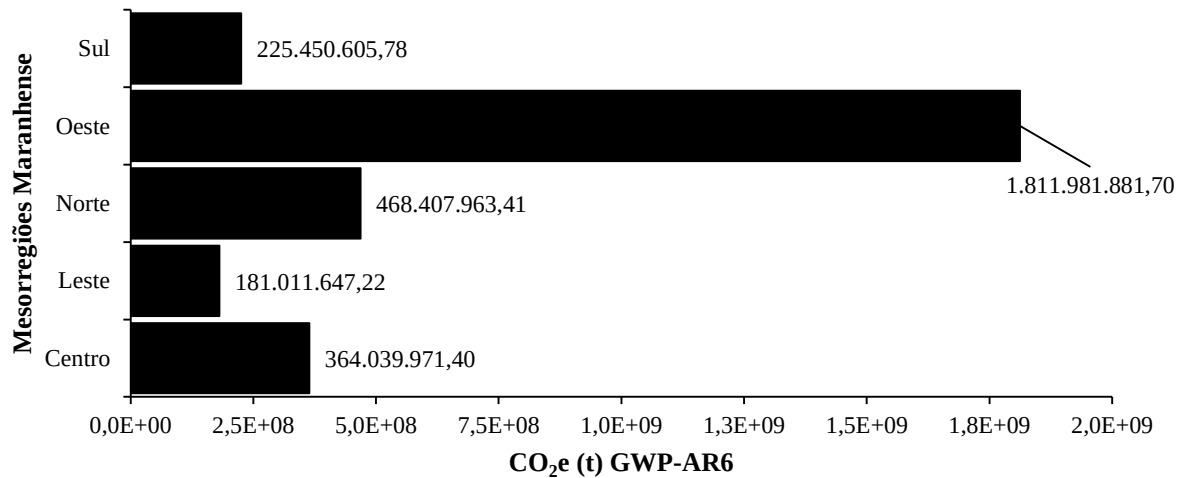
mostrado na (Figura 5), reforça o aumento de 110% entre 2001 e 2010 de área cultivada no Estado do Maranhão. Do ano de 1996 para 2005 o cultivo da soja passou de uma área de 62.328 ha para 372.074 ha, e a produção passou de 135.123 toneladas para 996.909 toneladas, apresentando um aumento de quase 600% na área colhida (Baptista, 2015), o que justifica o aumento de emissão para essa mesorregião.

Já a mesorregião Oeste, faz parte do arco do desmatamento na Amazônia Legal Brasileira, que conta com grande exploração agrícola, pecuária e madeireira (Rego; Kato, 2017; Domingues *et al.*, 2020;), com as alterações na cobertura da terra iniciadas no começo da década de 1990, com intensificação atual pela abertura de novas fronteiras agrícolas (Domingues *et al.*, 2020). Isto explica o motivo desta mesorregião ser a grande emissora de GEE do setor de MUTF no estado do Maranhão como mostra a (Figura 5).

Portanto, o desmatamento no Maranhão acumulou até 2009 uma área de 101.521 km², e entre 2002 e 2009 o estado evidenciou um aumento expressivo em alguns municípios com incremento entre 90 km² e 400 km² (Silva *et al.*, 2019), esse acúmulo do desmatamento no estado explica o fato das mesorregiões Centro e Norte ocuparem a 2^a e 3^a posições nas emissões de CO₂e, como se pode observar na Figura 5.

Carvalho e Domingues (2016) apontam que o aumento do desmatamento implica em uma crescente nas emissões de GEE associadas às mudanças no uso do solo, e tais emissões, decorrentes deste fator, podem crescer 25% até 2030, alcançando uma taxa anual de 916 mil toneladas de CO₂ equivalente. Esta estimativa leva a crer as metas de redução de GEE propostas pelo governo brasileiro, conforme a Lei Nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009 que instituiu a Política Nacional sobre Mudança do Clima, podem estar comprometidas (Brasil, 2009).

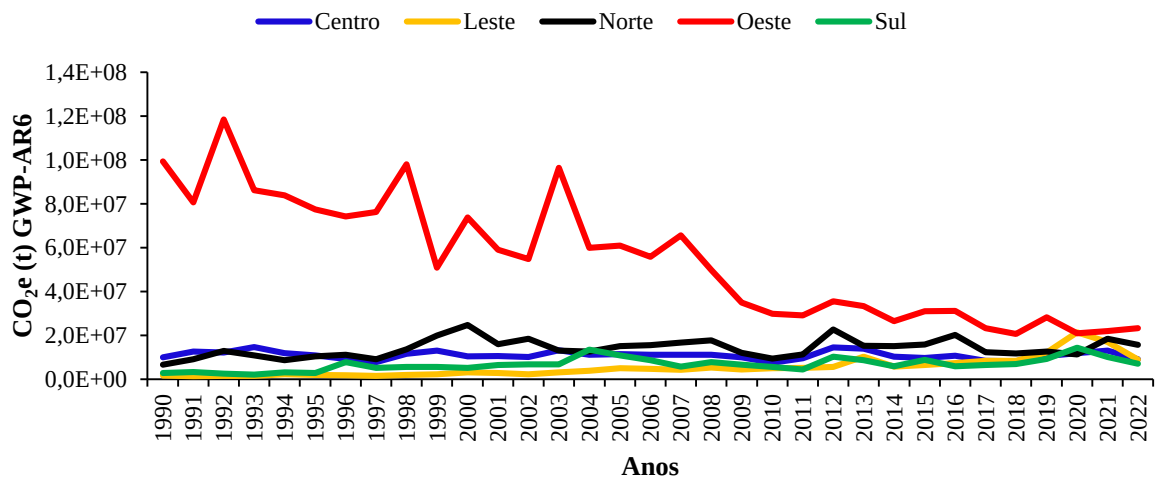
Figura 5. Totais de emissão de gases de efeito estufa (em tCO₂e) do setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas por mesorregião do estado do Maranhão entre 1990 e 2022.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Por outro lado, a mesorregião Oeste está com tendência de diminuição nas emissões (Figura 6), se aproximando nos últimos anos da série temporal dos totais emitidos nas demais mesorregiões.

Figura 6. Evolução das emissões de gases de efeito estufa (em tCO₂e) do setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas nas cinco mesorregiões do estado do Maranhão entre 1990 e 2022.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Durante o período analisado, as mesorregiões Leste e Sul do Maranhão tiveram seu pico de emissão no ano de 2020 (Tabela 1). Neste ano, quando a pandemia por Covid-19 parou a economia mundial, ocasionando uma inédita redução de quase 7% nas emissões globais de GEE em relação ao ano de 2019, o Brasil registrou um aumento de 9,5% nas emissões, sendo um dos países, se não o único, a registrar alta (Potenza *et al.*, 2021). No Leste Maranhense, no

setor de MUTF, houve uma variação de 75,53% das emissões de CO₂e, quando houve um salto de ~12,17 MtCO₂e em 2019 para ~21,36 MtCO₂e em 2020.

De acordo com Lemos (2015), a cultura da soja cresceu de forma natural começando da mesorregião Sul para o Leste do estado. No ano de 1990 o plantio de soja ocupava uma área de 4.585 hectares, que correspondia apenas 3% do total destinados para lavouras temporárias no estado. Com o passar dos anos a evolução de áreas utilizadas para plantação no Maranhão foi crescendo, atingindo 178.176 hectares de área plantada na década de 2000 e dando um grande salto para 1.023.541 hectares, em 2021.

No ano de 2020 a produção da soja em todo o estado aumentou 7,5%, comparado ao ano de 2019, atingindo 3,1 milhões de toneladas, sendo a lavoura o principal contribuinte para este crescimento na produção, que alcançou 3.200 kg ha⁻¹ (IMESC, 2021). Este fator, juntamente com o desmatamento das áreas de vegetações para exploração vegetal e animal explicam o aumento de emissão de GEE nas mesorregiões. A Tabela 1 mostra os respectivos anos em que ocorreram as maiores e menores quantidades emitidas de GEE em tCO₂e nas cinco mesorregiões do estado do Maranhão.

Tabela 1. Maiores e menores emissões de gases de efeito estufa (em tCO₂e) do setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas nas cinco mesorregiões do estado do Maranhão entre 1990 e 2022.

Mesorregião	Emissão de CO ₂ e (t) GWP-AR6			
	Maior	Ano	Menor	Ano
Centro	14.734.395,14	1993	7.602.772,36	2010
Leste	21.363.215,65	2020	1.380.267,27	1991
Norte	24.774.961,90	2000	6.696.279,14	1990
Oeste	118.355.855,63	1992	2.075.3042,50	2018
Sul	14.485.485,90	2020	2.248.391,72	1993
Maranhão	147.727.312,59	1992	56.378.921,38	2018

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

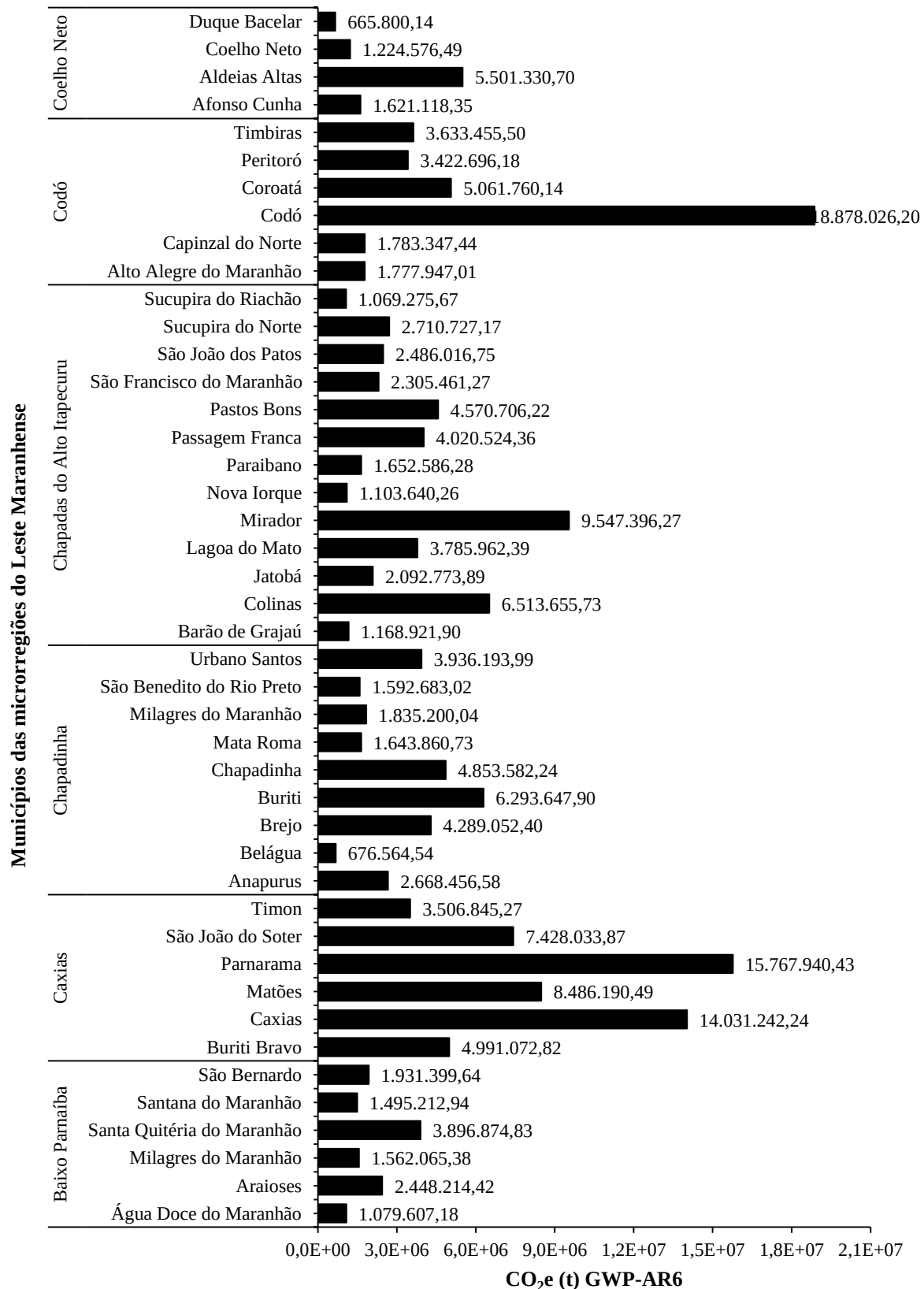
5.2. Panorama das emissões de GEE para as microrregiões do Leste Maranhense

No Leste Maranhense, entre 1990 e 2022 foram emitidas 181.011.647,22 toneladas brutas de CO₂e pelo setor de MUTF, com a microrregião de Caxias ocupando a primeira posição, emitindo ~54,21 MtCO₂e ou 29,95% do total (Figura 7). Esta mesorregião recebe muitas alterações na paisagem natural, principalmente em relação a mudança no uso da terra, por conta que o seu território é pertencente ao Bioma Cerrado que é alvo de grandes atividades extrativistas e agropecuárias (Ferreira; Fushimi; Ferreira, 2023). A microrregião de Chapadinha

foi a quarta que mais emitiu, respondendo por ~27,79 MtCO₂e ou (15,35%) das emissões, sendo superada ainda pelas microrregiões de Chapadas do Alto Itapecuru e Codó, que emitiram ~43,03 MtCO₂e (23,77%) e ~34,56 MtCO₂e (19,09%), respectivamente.

Dentre os cinco municípios que mais emitiram GEE entre 1990 e 2022 no Leste Maranhense, três fazem parte da microrregião de Caxias, sendo eles, Parnarama, Caxias e Matões (2º, 3º e 5º maior emissor, respectivamente), quando juntos somaram ~38,29 MtCO₂e (Figura 7), superior aos totais emitidos pelas microrregiões de Baixo Parnaíba, Chapadinha, Codó e Coelho Neto. O município de Codó foi o maior emissor, respondendo por ~18,88 MtCO₂e. Mirador, município pertencente à microrregião das Chapadas do Alto Itapecuru ocupou a quarta posição entre os cinco maiores emissores, tendo emitido ~9,55 MtCO₂e. Em contrapartida, os municípios de Duque Bacelar na microrregião de Coelho Neto, e Belágua na microrregião de Chapadinha foram os que menos emitiram GEE, respondendo por ~665,80 mil tCO₂e e 676,56 mil tCO₂e.

Figura 7. Totais de emissão de gases de efeito estufa (em tCO₂e) do setor de Mudança do Uso da Terra e Florestas por município nas microrregiões do Leste Maranhense entre 1990 e 2022.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

No ano de 2020 a microrregião de Chapadinha alcançou seu pico de emissão, com ~2,89 MtCO₂e, ocorrendo o inverso no ano de 1990, quando emitiu ~56,50 mil toneladas de CO₂e (Tabela 2). Considerada uma nova fronteira do cultivo da soja no país, a expansão agrícola nesta microrregião decolou a partir dos anos 2000 e passou a liderar o ranking na produção da soja principalmente em quatro municípios, sendo eles, Anapurus, Buriti, Brejo e Mata Roma, respectivamente (Carneiro, 2008; Nascimento, 2011; Gaspar, 2013; Almeida; Mattos-Junior, 2021).

Das seis microrregiões do Leste Maranhense, apenas a de Baixo Parnaíba e Coelho Neto não atingiram seu pico de emissão no ano de 2020, ocorrendo em 2013 (~1,35 MtCO₂e) e 2021 (~1,95 MtCO₂e), respectivamente. Todas as microrregiões registraram queda nas emissões no ano de 2022 em relação ao ano de 2021, com a maior variação acontecendo na microrregião de Caxias, caindo de 6.319.402,40 em 2021 para 2.998.577,00 em 2022, queda de 52,55%.

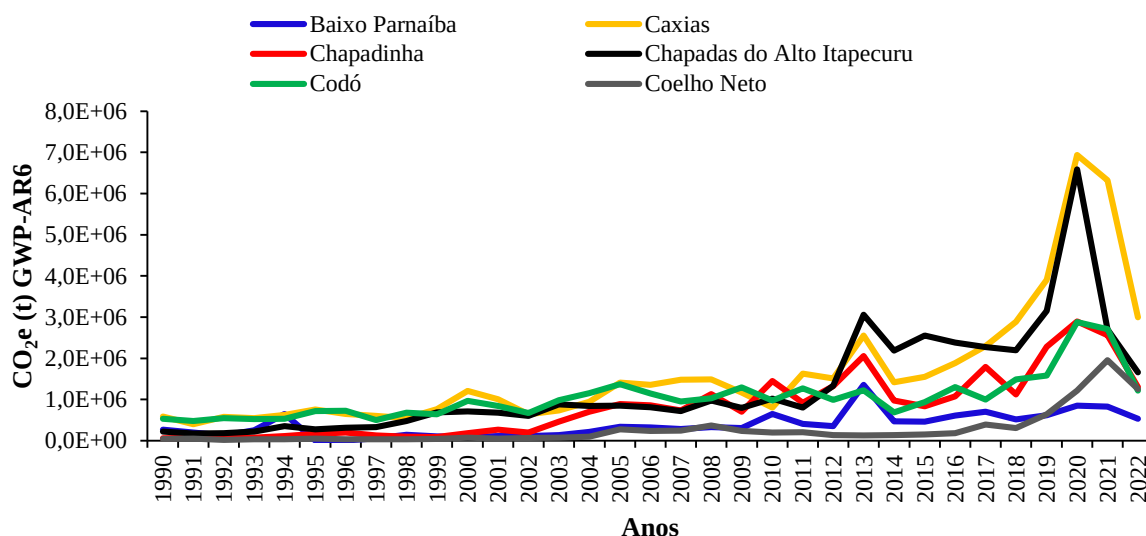
A (Figura 8) mostra a evolução das emissões brutas de GEE em tCO₂e das seis microrregiões do Leste Maranhense, de 1990 a 2022.

Tabela 2. Maiores e menores emissões de gases de efeito estufa (em tCO₂e) do setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas nas microrregiões do Leste Maranhense entre 1990 e 2022.

Microrregião	Emissão de CO ₂ e (t) GWP-AR6			
	Maior	Ano	Menor	Ano
Baixo Parnaíba	1.353.745,19	2013	5.560,44	1996
Caxias	6.932.696,25	2020	403.520,13	1991
Chapadinha	2.891.312,48	2020	56.491,78	1990
Chapadas do Alto Itapecuru	6.586.072,65	2020	178.547,13	1991
Codó	2.882.031,44	2020	479.443,13	1991
Coelho Neto	1.953.704,76	2021	18.383,96	1992

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 8. Evolução das emissões de GEE em tCO₂e do setor de MUTF nas microrregiões do Leste Maranhense.

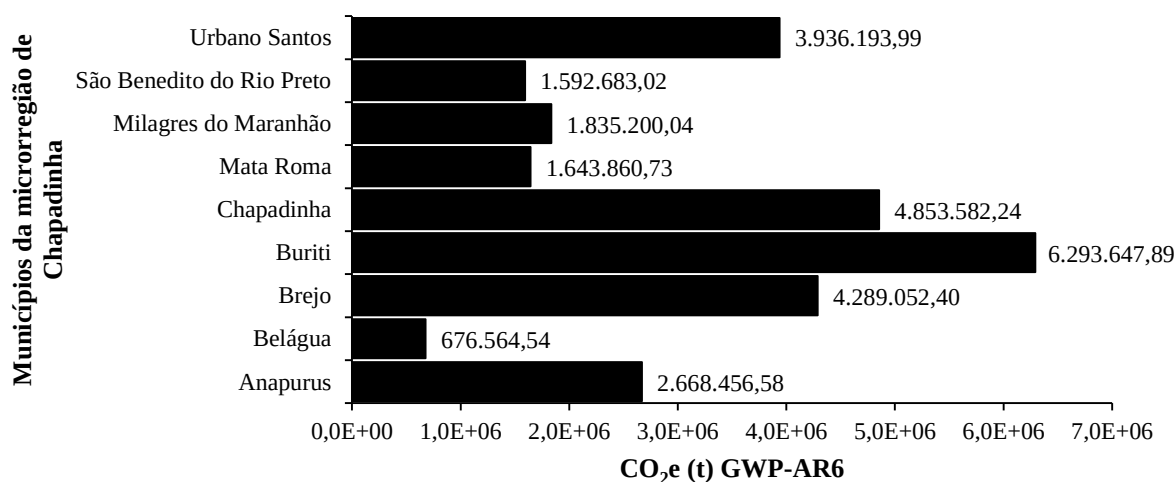


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

5.3. Panorama das emissões de GEE para os municípios da microrregião de Chapadinha

A microrregião de Chapadinha emitiu um total de 27.789.241,42 tCO₂e entre 1990 e 2022 (Figura 9). Dentre os nove (9) municípios que compõem a microrregião, Buriti é o município com a maior quantidade de CO₂e emitida, respondendo por ~6,29 Mt, ou 22,65% do total. Os municípios de Chapadinha, Brejo e Urbano Santos ocupam a segunda, terceira e quarta posição, com emissões de ~4,85 MtCO₂e, ~4,29 MtCO₂e e ~3,94 MtCO₂e, respectivamente. Somados, os municípios citados responderam por mais de 69% do total de emissões de GEE no setor de MUTF na microrregião.

Figura 9. Totais de emissão de gases de efeito estufa (em tCO₂e) do setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas por município na microrregião de Chapadinha entre 1990 e 2022.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Entre os anos de 2019 e 2021 ocorreram as maiores emissões para a maioria dos municípios da microrregião (Tabela 3). Este foi um período em que o Brasil como um todo registrou alta nas emissões, quando somou ~9,40 bilhões de toneladas brutas de CO₂e emitidas entre todos os setores, de 2019 a 2022, retornando à patamares alcançados na década de 1990 (Tsai *et al.*, 2023).

Um estudo realizado por Gatti *et al.* (2022), mostra que os recordes de desmatamento e queimadas nos dois primeiros anos do governo Jair Bolsonaro causaram um aumento de 89% nas emissões de gás carbônico em 2019 e de 122% em 2020, na comparação com a média anual registrada entre 2010 e 2018. Durante esses anos, também foram observados aumentos no desmatamento (79% e 74%) e na área florestal queimada (14% e 42%). As notificações em campo por desmatamento ilegal e crimes relacionados caíram 42%, enquanto as multas pagas por sentenças proferidas caíram 89%. De acordo com os autores, as consequências do colapso na fiscalização levaram ao aumento do desmatamento, queima e degradação de biomassa, produzindo perdas líquidas de carbono e aumentando a seca e o aquecimento das regiões florestais.

Contudo, foi no ano de 2013 que ocorreu a maior quantidade emitida de CO₂e na microrregião, no município de Urbano Santos, quando foram emitidas 911.707,96 t.

Os municípios de Mata Roma e Urbano Santos foram os únicos a registrarem aumento nas emissões no ano de 2022 em relação a 2021, com destaque para o primeiro que registrou variação de 98,37%, havendo um salto de ~94,27 mil tCO₂e em 2021 para ~187 mil tCO₂e em 2022.

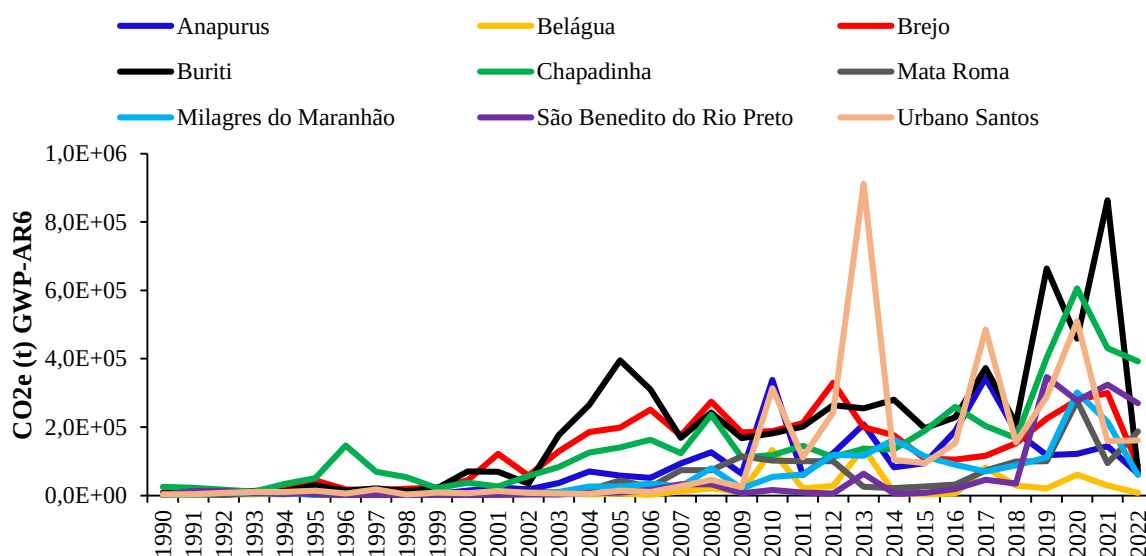
A (Figura 10) mostra a evolução das emissões de GEE do setor de MUTF nos municípios da microrregião de Chapadinha, onde pode-se observar que a partir da década de 2000 as emissões começam a atingir patamares mais elevados e se tornarem mais variáveis ao longo do tempo. Segundo a literatura (Campelo, 2000; Carneiro, 2008; Gaspar, 2013; Almeida; Sodré; Mattos-Junior, 2019), nos anos 2000 a microrregião de Chapadinha começou a evoluir na produção agrícola, principalmente a cultura da soja, tendo como ponto positivo a sua proximidade ao Porto de Itaqui, que facilitava o traslado dos grãos pela BR-222. Vale ressaltar que a microrregião faz parte do território do Matopiba, região beneficiada com grandes investimentos para as produções agrícolas.

Tabela 3. Maiores e menores emissões de gases de efeito estufa (em tCO₂e) do setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas nos municípios da microrregião de Chapadinha entre 1990 e 2022.

Microrregião	Emissão de CO ₂ e (t) GWP-AR6			
	Maior	Ano	Menor	Ano
Anapurus	343.934,14	2017	1.298,19	1998
Belágua	138.540,75	2013	1.378,64	1991
Brejo	329.871,45	2012	9.168,31	1992
Buriti	863.437,38	2021	6.053,33	1990
Chapadinha	606.189,17	2020	11.052,95	1993
Mata Roma	276.383,00	2020	585,71	1998
Milagres do Maranhão	301.470,59	2020	854,74	1997
São Benedito do Rio Preto	346.820,43	2019	704,29	2000
Urbano Santos	911.707,96	2013	3.134,19	1990

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 10. Evolução das emissões de gases de efeito estufa (em tCO₂e) do setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas nos municípios da microrregião de Chapadinha no Leste Maranhense.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

5.4. Análise de tendência das emissões de GEE para as mesorregiões do estado do Maranhão

Para as mesorregiões Leste, Norte e Sul do estado do Maranhão foram detectadas tendências significativas de aumento das emissões de GEE pelo teste MK, ao nível de 5% de probabilidade (Tabela 4). O Leste Maranhense é a mesorregião com maior tendência de aumento das emissões, tendo 267.304,05 tCO₂e ano⁻¹ como a maior taxa de emissão detectada pelo teste de inclinação de Sen. Na década de 1990, o Maranhão iniciou uma grande expansão das lavouras de soja na fronteira agrícola, principalmente no Cerrado a qual engloba boa parte do Leste maranhense. Com o objetivo de contribuir para o sucesso do cultivo da cultura na

região, tecnologias foram desenvolvidas e, com o passar das décadas, a expansão foi se intensificando (Rocha; Ottati, 2023). Devido o decorrente crescimento da produção agrícola no Leste, fez-se necessário que o governo do Brasil determinasse o Decreto Federal Nº 8.447, de 6 de maio de 2015, que instaurou a criação do Plano de Desenvolvimento Agropecuário para a fronteira agrícola Matopiba (Araújo, 2018).

Para as mesorregiões Oeste e Centro foi detectada tendência de diminuição das emissões, porém, com significância estatística somente para a primeira.

Tabela 4. Valores das estatísticas do teste Mann-Kendall e Sen para as emissões de GEE do setor de MUTF nas mesorregiões do estado do Maranhão entre 1990 e 2022.

Mesorregião	Mann-Kendall			Sen
	Z_{MK}	τ	$^1p\text{-valor}$	SS (tCO ₂ e ano ⁻¹)
Centro	-1,38	-0,17	$1,68 \cdot 10^{-1}$	-51.599,76
Leste	7,08	0,87	$1,43 \cdot 10^{-12}$	267.304,05
Norte	2,00	0,25	$4,56 \cdot 10^{-2}$	151.792,48
Oeste	-6,31	-0,77	$2,86 \cdot 10^{-10}$	-2.434.685,69
Sul	3,98	0,49	$6,83 \cdot 10^{-5}$	181.411,63
Maranhão	-4,94	-0,61	$7,70 \cdot 10^{-7}$	-1.867.289,71

¹intervalo de confiança de 0,95 ($\alpha = 0,05$); SS: *Sen's Slope*. **Fonte:** Elaborado pelo autor (2024).

Para o estado do Maranhão em geral, foi detectada tendência significativa de diminuição nas emissões (Tabela 4). Isto se deu em função da mesorregião Oeste, que apresentou tendência de diminuição bastante significativa, com taxa máxima de queda de emissão de $\sim 2,43$ tCO₂e ano⁻¹. Ainda, outro indicativo é a igualdade no ponto de mudança do comportamento das emissões para a mesorregião e estado como um todo. Este é um resultado positivo para o estado do Maranhão no contexto atual de mudanças climáticas em função da emissão de GEE, porém, mascara a real situação do estado, quando três de suas mesorregiões contam com tendência significativa de aumento, como visto anteriormente.

Na Tabela 5 estão os resultados das estatísticas do teste de Pettitt, junto das medianas de antes (Me1) e depois (Me2) do ponto de mudança. A mesorregião Norte foi a primeira a ter mudança no comportamento das emissões, sendo 1997 detectado como ano correspondente ao ponto significativo de mudança (K_T) ao nível de 5% de probabilidade, com variação de 47,61% entre as medianas de emissões. No Leste Maranhense, o ano de 2004 foi detectado como ponto de mudança no comportamento das emissões, com a mediana das emissões antes deste ponto subindo de 1.991.503,06 tCO₂e ano⁻¹ (1990-2004) para 6.177.021,91 tCO₂e ano⁻¹ (2005-2022), representando uma variação de 210,17%, a maior identificada.

Tabela 5. Valores das estatísticas do teste de Pettitt para as emissões de GEE do setor de MUTF nas mesorregiões do estado do Maranhão entre 1990 e 2022.

Mesorregião	Teste de Pettitt				tCO ₂ e ano ⁻¹		Var. (%) Me1-Me2
	U_t	¹ p -valor	K_T	ACK_T	Me1	Me2	
Centro	84	$6,37 \cdot 10^{-1}$	-	-	-	-	-
Leste	270	$1,48 \cdot 10^{-5}$	15	2004	1.991.503,06	6.177.021,91	210,17
Norte	178	$1,18 \cdot 10^{-2}$	8	1997	10.459.386,46	15.439.374,02	47,61
Oeste	270	$1,48 \cdot 10^{-5}$	18	2007	75.293.948,79	29.131.320,55	-61,31
Sul	206	$2,06 \cdot 10^{-3}$	11	2000	3.398.119,61	7.067.348,75	107,98
Maranhão	268	$1,76 \cdot 10^{-5}$	18	2007	104.202.966,19	72.203.408,33	-30,71

¹intervalo de confiança de 0,95 ($\alpha = 0,05$); ACK_T : ano correspondente ao ponto de mudança K_T ; Me1 (Me2): mediana anterior (posterior) ao ponto de mudança; Var.: Variação. **Fonte:** Elaborado pelo autor (2024).

No setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas as emissões de gases de efeito estufa estão relacionadas aos processos de alteração nos estoques de biomassa e matéria orgânica existentes acima e abaixo do solo, além de emissões geradas pela queima de resíduos florestais (Zimbres *et al.*, 2024). O estado do Maranhão é ocupado pelos biomas Amazônia e Cerrado (IBGE, 2019), que lideram os rankings de desmatamento no Brasil, de acordo com dados do projeto PRODES do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (2024) e relatórios de desmatamento anual do Brasil do projeto MapBiomas (2020, 2021, 2022, 2023, 2024). A área ocupada pelo Bioma Cerrado no Maranhão faz parte da fronteira agrícola denominada “Matopiba” (EMBRAPA, 2015), que engloba todo o Leste e Sul, além de partes do Centro, Norte e Oeste do estado, com conversão de grandes áreas de vegetação nativa para produção vegetal e animal, principalmente a partir do início da década de 2000 (Alencar *et al.*, 2020).

Em relação à mesorregião Oeste, esta contava com uma mediana de emissão de ~ 75.29 MtCO₂e ano⁻¹ antes do ponto de mudança, 2007, caindo entre 2008 e 2022 para $\sim 29,13$ MtCO₂e ano⁻¹, uma variação de -61,31% (Tabela 5). De 2004 a 2008 aconteceu a primeira fase do Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), quando foram observadas redução de até 53% nas taxas anuais de desmatamento, alcançando na terceira fase (2012-2015) a máxima de 83% em relação à taxa medida em 2004 (Brasil, 2023).

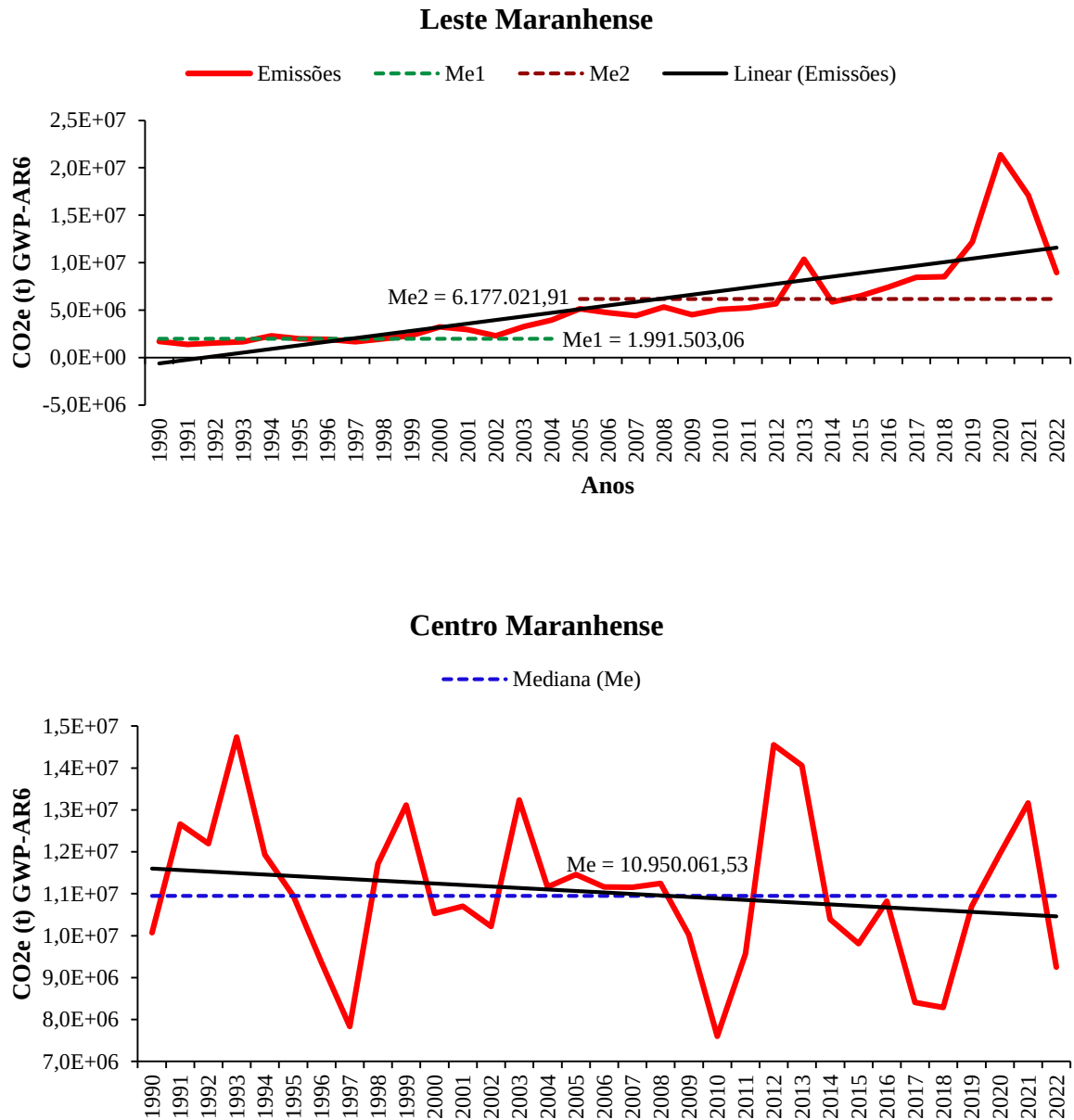
Outra medida com efeitos direto na redução das taxas de emissão de GEE no Brasil foi a elaboração em 2010 e aprovação em 2011 do Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC), como forma de implementação da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), instituída pela Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009 (Brasil, 2021). No setor agropecuário o Plano ABC (2010-2020) é responsável por mudanças importantes (Potenza *et al.*, 2023). O plano tem como objetivos: Contribuir com a redução de emissões de GEE no

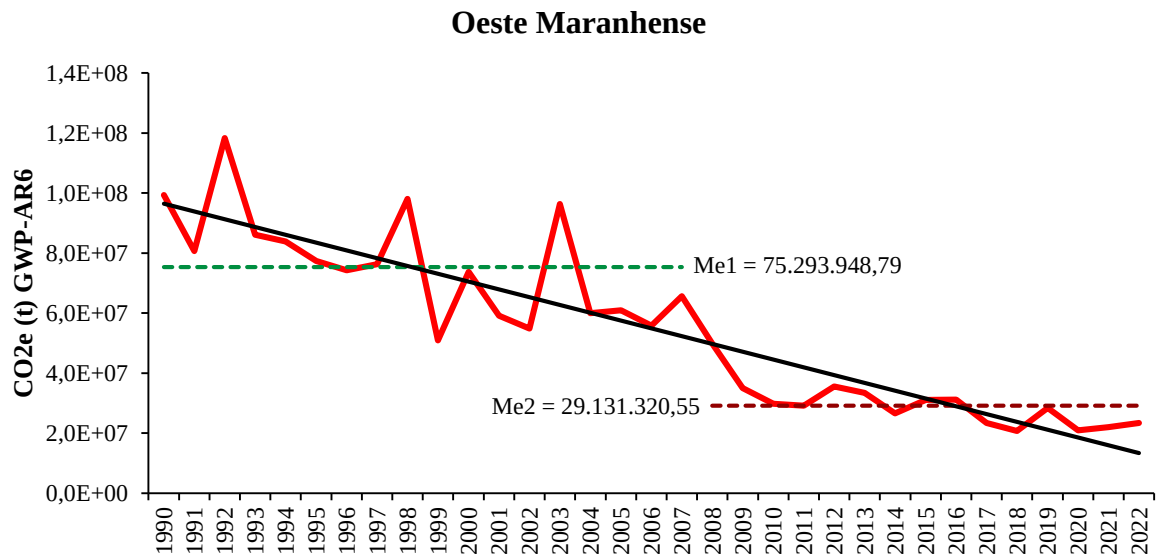
Brasil; Garantir o uso de práticas de manejos no qual contribuem com a redução de GEE e aumentar a fixação do CO₂ no solo e vegetais em todos os setores da agricultura; Incentivar os agricultores à adotarem Sistemas de Produções que além de contribuir na redução de gases não interfere na renda dos mesmos, adotando tecnologias inovadoras como, Fixação Biológica do Nitrogênio (FBN); Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF); Sistemas Agroflorestais (SAFs); Sistema Plantio Direto (SPD); Florestas Plantadas e Recuperação de Pastagens Degradadas; Fazer tratamento de Desejos Animais para a fabricação de biogás e compostos orgânicos; Diminuir o desmatamento para produções agropecuárias e Incentivar os produtores rurais com vulnerabilidade, o uso de técnicas e estudos para adaptação de plantas e sistemas que contribuam com a produção (Brasil, 2012a) .

O plano setorial ABC é liderado pelo Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), este foi de grande importância para o ajuste entre a produtividade e sustentabilidade no setor rural do Brasil. O mesmo estabelecido em 2010, seus resultados somaram com a Agenda de 2030 para desenvolvimento sustentável (Brasil, 2021). Sendo assim, após reuniões entre os integrantes do MAPA, foi estabelecido um segundo ciclo do Plano ABC, o ABC+, sendo chamado de “Plano Setorial para Adaptação da Agropecuária as Mudanças do Clima e Baixa Emissão de Carbono (2020-2030)”, seu designo é permanecer as ações que ajude a combater os impactos que contribuem para a mudança do clima, proporcionando acréscimo da adaptabilidade e do avanço sustentável no âmbito agropecuário (Brasil, 2021).

Para demonstração, na (Figura 11) consta as tendências das emissões de GEE do setor de MUTF para as mesorregiões Leste (com tendência significativa de aumento das emissões), Centro (com tendência não significativa de redução das emissões) e Oeste Maranhense (com tendência significativa de redução das emissões).

Figura 11. Tendência das emissões de gases de efeito estufa do setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas nas mesorregiões Leste, Centro e Oeste do estado do Maranhão entre 1990 e 2022.





Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

5.5. Análise de tendência das emissões de GEE para as microrregiões do Leste Maranhense

Foram detectadas tendências bastante significativas de aumento nas emissões de GEE para todas as microrregiões do Leste Maranhense (Tabela 6). O teste de Sen identificou a maior taxa de emissão anual para a microrregião de Caxias, igual a 72.564,47 tCO₂e ano⁻¹, seguida das microrregiões de Chapadas do Alto Itapecuru e Chapadinha, com 68.297,18 tCO₂e ano⁻¹ e 57.080,33 tCO₂e ano⁻¹, respectivamente.

Segundo o estudo de Jansen (2022), a microrregião de Caxias possui solos diversificados incluindo alguns com alta fertilidade, isto explica o porquê das atividades como agropecuária e exploração vegetal são as principais realizadas. A área destinada para atividades de Silvicultura e Pastagem natural corresponde a 6031.5626 km² e áreas destinadas a lavoura corresponde a 7457,4661 km².

Tabela 6. Valores das estatísticas do teste Mann-Kendall e Sen para as emissões de GEE do setor de MUTF nas microrregiões do Leste Maranhense entre 1990 e 2022.

Microrregião	Mann-Kendall			Sem
	Z _{MK}	Tau	¹ p-valor	SS (tCO ₂ e ano ⁻¹)
Baixo Parnaíba	4,88	0,60	1,06 10 ⁻⁶	21.842,70
Caxias	6,49	0,79	8,46 10 ⁻¹¹	72.564,47
Chapadinha	6,52	0,80	6,88 10 ⁻¹¹	57.080,33
Chapadas do Alto Itapecuru	6,52	0,80	6,88 10 ⁻¹¹	68.297,18
Codó	5,22	0,64	1,77 10 ⁻⁷	33.074,32
Coelho Neto	5,69	0,70	1,30 10 ⁻⁸	12.320,55

¹intervalo de confiança de 0,95 ($\alpha = 0,05$); SS: *Sen's Slope*. Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Para as microrregiões de Codó e Chapadas do Alto Itapecuru, o ano de 2002 foi identificado como correspondente ao ponto de mudança K_T no comportamento das emissões, e,

para as demais microrregiões, o ano correspondente ao K_T foi 2004 (Tabela 7). As maiores variações em relação às medianas de emissões Me1 e Me2 foram identificadas para as microrregiões de Chapadinha (757,13%) e Coelho Neto (425,44%), quando a primeira evoluiu de Me1 = 131.696,22 tCO₂e ano⁻¹ para Me2 = 1.128.808,99 tCO₂e ano⁻¹, e a segunda de Me1 = 46.282,31 tCO₂e ano⁻¹ para Me2 = 243.183,60 tCO₂e ano⁻¹, respectivamente.

Tabela 7. Valores das estatísticas do teste de Pettitt para as emissões de GEE do setor de MUTF nas microrregiões do Leste Maranhense entre 1990 e 2022.

Microrregião	Teste de Pettitt				tCO ₂ e ano ⁻¹		Var. (%) Me1-Me2
	U_t	¹ p-valor*	K_T	ACK _T	Me1	Me2	
Baixo Parnaíba	242	1,51 10 ⁻⁴	15	2004	128.382,11	493.324,04	284,26
Caxias	262	2,95 10 ⁻⁵	15	2004	644.159,02	1.590.093,01	146,85
Chapadinha	270	1,48 10 ⁻⁵	15	2004	131.696,22	1.128.808,99	757,13
C. A. Itapecuru	260	3,50 10 ⁻⁵	13	2002	333.517,26	1.499.204,31	349,51
Codó	248	9,39 10 ⁻⁵	13	2002	645.061,45	1.185.141,35	83,73
Coelho Neto	270	1,48 10 ⁻⁵	15	2004	46.282,31	243.183,60	425,44

C. A. Itapecuru: Chapadas do Alto Itapecuru; ¹intervalo de confiança de 0,95 ($\alpha = 0,05$); ACK_T: ano correspondente ao ponto de mudança K_T ; Me1 (Me2): mediana anterior (posterior) ao ponto de mudança; Var.: Variação. **Fonte:** Elaborado pelo autor (2024).

A economia do Leste Maranhense gira em torno da exploração vegetal e animal, responsável pelas grandes alterações do uso da terra na mesorregião, especialmente a partir do início da década de 2000, com destaque para produção de soja, milho, cana-de-açúcar, feijão e mandioca na área agrícola, e exploração bovina, galinácea, suína e caprina na pecuária (IBGE, 2023). Dados de desmatamento do Bioma Cerrado (PRODES/INPE, 2024) mostram que de 2000 a 2022 no Leste Maranhense a área desmatada foi de 24.071,36 km², correspondente a 34,49% de sua extensão territorial. Deste total, as maiores contribuições no desmatamento vieram das microrregiões de Caxias, Codó e Chapadas do Alto Itapecuru (as três maiores emissoras), que desmataram o equivalente a 25,58% (6.157,80 km²), 24,96% (6.009,15 km²) e 23,53% (5.662,98 km²), respectivamente. A microrregião de Chapadinha contribuiu com 13,79% ou 3.319,31 km² de área desmatada.

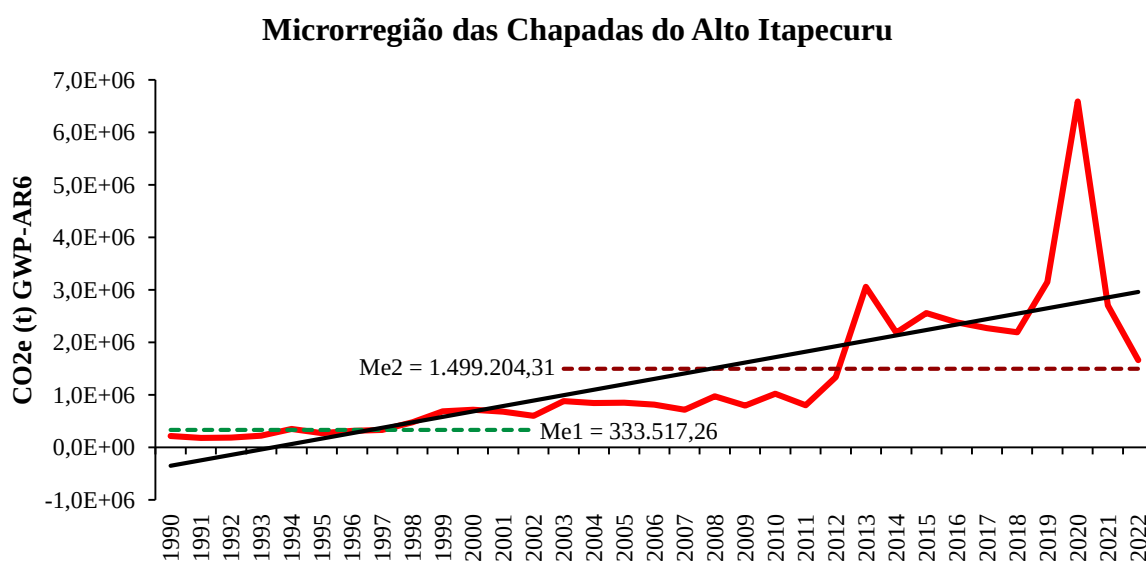
O Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Bioma Cerrado (PPCerrado), em sua 1ª Fase (2010-2011) foram discutidas ações como, Áreas Protegidas e Ordenamento Territorial; Monitoramento e Controle; Fomento às Atividades Produtivas Sustentáveis; e Educação Ambiental. Na 2ª Fase (2014-2015), apenas foi retirada ação de Educação Ambiental, mesmo sabendo que ainda era de importância. Na 3ª Fase (2016-2020), foi melhorado os três eixos das fases 1 e 2, também foi desenvolvido um novo eixo que reúne estratégias e desenvolvimento de normas e ferramentas econômicas, fiscais e tributárias

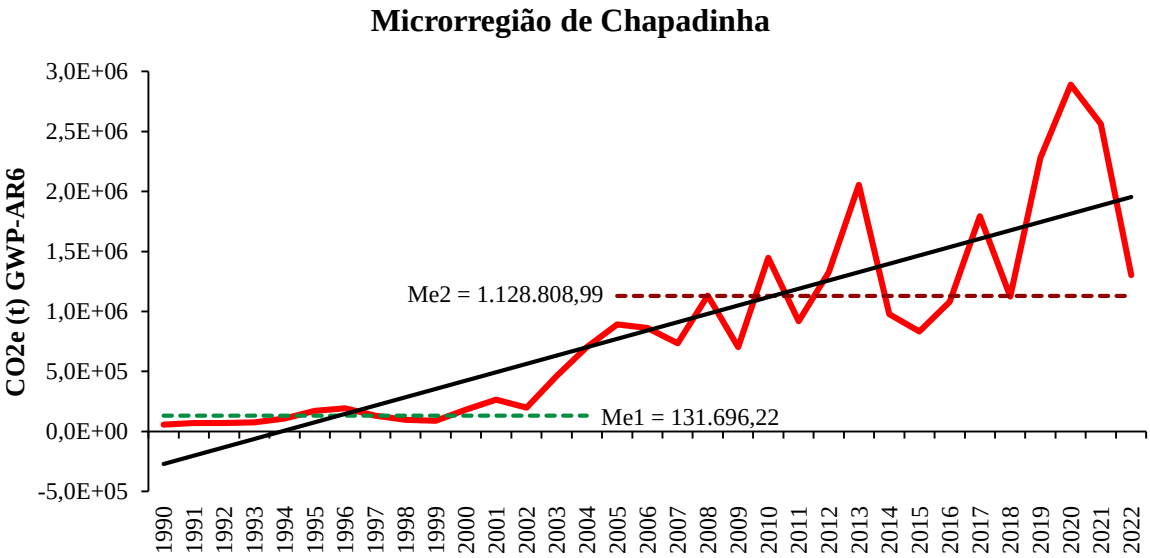
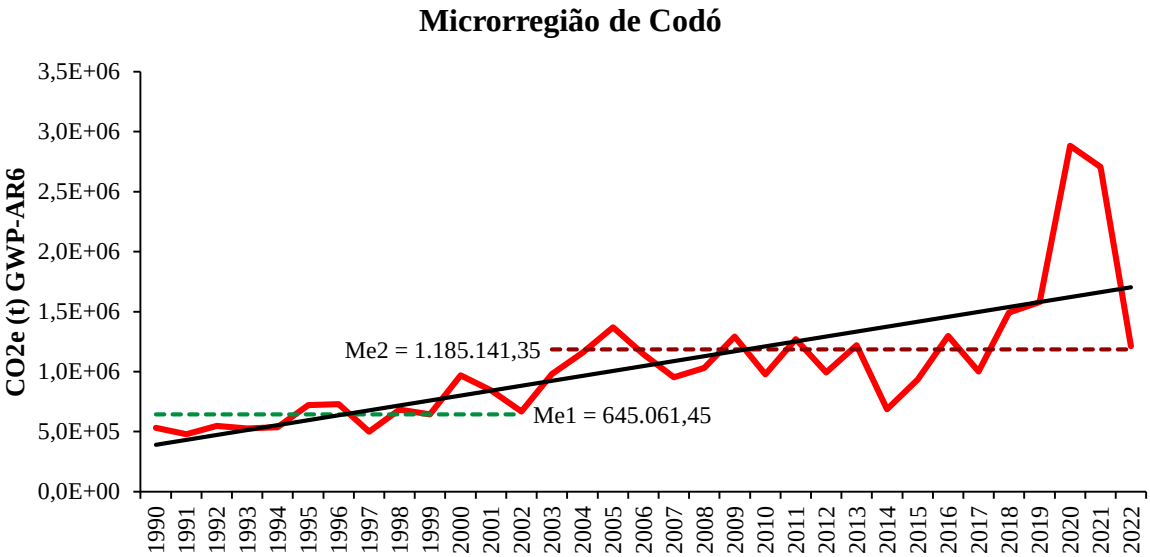
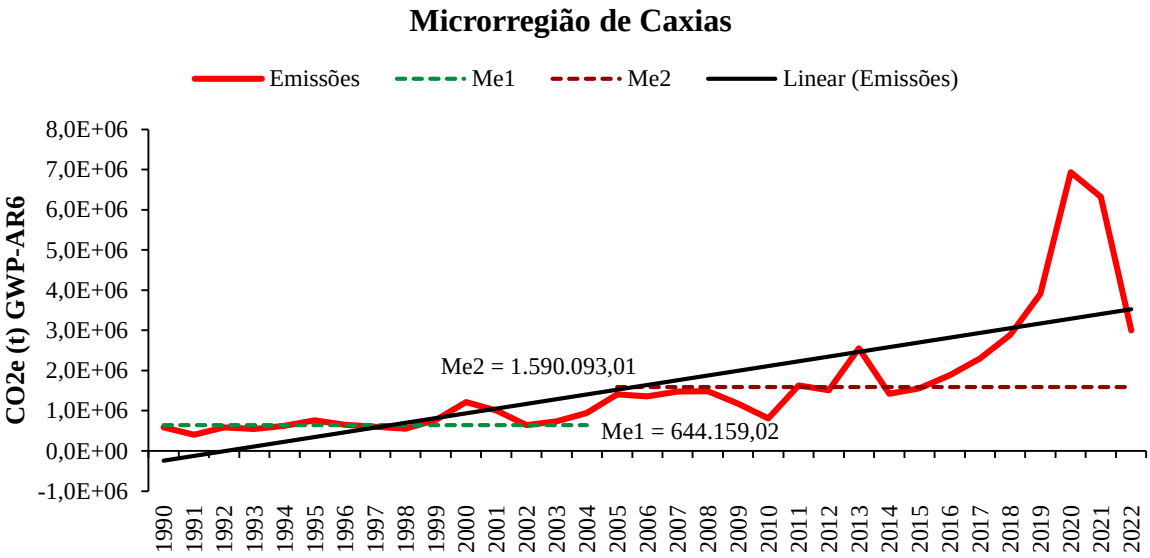
que sejam capazes de colaborar ao combate de desmatamento da vegetação natural, de forma que controle e previna tal ação. O Plano de Ação do PP Cerrado - 4ª Fase (2023-2027), instituído pelo Decreto n.11.367, de 1.º de janeiro de 2023. Em alinhamento com o PPCDAm, o novo Plano tem como eixos temáticos, Atividades Produtivas Sustentáveis; Monitoramento e Controle Ambiental; Ordenamento Fundiário e Territorial; e Instrumentos normativos e econômicos, dirigidos à redução do desmatamento e à concretização das ações abrangidas pelos demais eixos de planos (Brasil, 2023).

As microrregiões de Codó, Caxias e Baixo Parnaíba que possuem extensão territorial de 9.919,62 km², 15.339,96 km² e 5.102,61 km² (IBGE, 2022) respondem pelas maiores proporções de desmatamento entre as microrregiões do Leste Maranhense, desmatando 60,58%, 40,14%, e 34,59% de sua área entre 2000 e 2022 (PRODES/INPE, 2024). A microrregião de Chapadinha desmatou o equivalente a 30,74% de seu território, que conta com extensão de 10.797,40 km² (IBGE, 2022).

Na (figura 12) constam os gráficos de tendência das emissões de GEE do setor de MUTF para as microrregiões de Caxias, Chapadas do Alto Itapecuru, Codó e Chapadinha, considerando que estas possuem as maiores medianas de emissões pós o ponto de mudança no comportamento das séries temporais (Tabela 7).

Figura 12. Tendência das emissões de gases de efeito estufa do setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas entre 1990 e 2022 nas microrregiões de Chapadinha, Caxias, Codó e Chapadas do Alto Itapecuru no Leste Maranhense.





Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

5.6. Análise de tendência das emissões de GEE nos municípios da microrregião de Chapadinha

O teste Mann-Kendall detectou tendências significativas de aumento nas emissões de GEE para todos os municípios da microrregião de Chapadinha, ao nível de 5% de probabilidade (Tabela 8). O teste de Sen detectou as maiores taxas de emissões para os municípios de Buriti, Chapadinha e Brejo, sendo 12.193,36 tCO₂e ano⁻¹ e 8.250,20 tCO₂e ano⁻¹ e 7.692,43 tCO₂e ano⁻¹, respectivamente.

Tabela 8. Valores das estatísticas do teste Mann-Kendall e Sen para as emissões de GEE do setor de MUTF nos municípios da microrregião de Chapadinha entre 1990 e 2022.

Município	Mann-Kendall			Sem
	Z_{MK}	Tau	$^1p\text{-valor}$	SS (tCO ₂ e ano ⁻¹)
Anapurus	5,31	0,65	1,07 10 ⁻⁷	5.128,79
Belágua	4,11	0,50	4,02 10 ⁻⁵	673,89
Brejo	4,73	0,58	2,29 10 ⁻⁶	7.692,43
Buriti	5,47	0,67	4,51 10 ⁻⁸	12.193,36
Chapadinha	5,69	0,70	1,30 10 ⁻⁸	8.250,20
Mata Roma	5,41	0,66	6,39 10 ⁻⁸	3.436,47
Milagres do Maranhão	5,47	0,67	4,51 10 ⁻⁸	4.163,76
S. B. Rio Preto	4,04	0,50	5,25 10 ⁻⁵	1.131,13
Urbano Santos	5,22	0,64	1,77 10 ⁻⁷	5.916,03

S. B. Rio Preto: São Benedito do Rio Preto; ¹intervalo de confiança de 0,95 ($\alpha = 0,05$); SS: *Sen's Slope*. **Fonte:** Elaborado pelo autor (2024).

A mudança no comportamento das emissões para a maioria dos municípios da microrregião se deu entre os anos de 2002 e 2004 (Tabela 9). As variações entre as medianas das emissões anuais Me1 e Me2 são alarmantes, sendo as mais altas detectadas nos municípios de Anapurus (a 2.605,94%), Milagres do Maranhão (2.224,19%) e Mata Roma (2.191,12%), e a menor no município de Chapadinha, igual a 351,92%, ainda assim muito alta.

Tabela 9. Valores das estatísticas do teste de Pettitt para as emissões de GEE do setor de MUTF nos municípios da microrregião de Chapadinha entre 1990 e 2022.

Município	Teste de Pettitt				tCO ₂ e ano ⁻¹		Var. (%) Me1-Me2
	U_t	$^1p\text{-valor}^*$	K_T	ACK_T	Me1	Me2	
Anapurus	266	2,10 10 ⁻⁵	14	2003	4.380,85	118.543,02	2.605,94
Belágua	236	2,41 10 ⁻⁴	17	2006	3.390,57	20.354,98	500,34
Brejo	252	6,79 10 ⁻⁵	13	2002	19.605,39	186.741,15	852,50
Buriti	260	3,50 10 ⁻⁵	13	2002	14.491,15	249.054,47	1.618,67
Chapadinha	248	9,39 10 ⁻⁵	14	2003	35.997,96	162.683,08	351,92
Mata Roma	270	1,48 10 ⁻⁵	15	2004	3.669,89	84.081,62	2.191,12
M. Maranhão	268	1,76 10 ⁻⁵	15	2004	3.598,08	83.645,22	2.224,19
S. B. Rio Preto	224	5,89 10 ⁻⁴	15	2004	2.754,33	26.110,84	847,99
Urbano Santos	272	1,24 10 ⁻⁵	17	2006	7.625,28	157.585,96	1.966,63

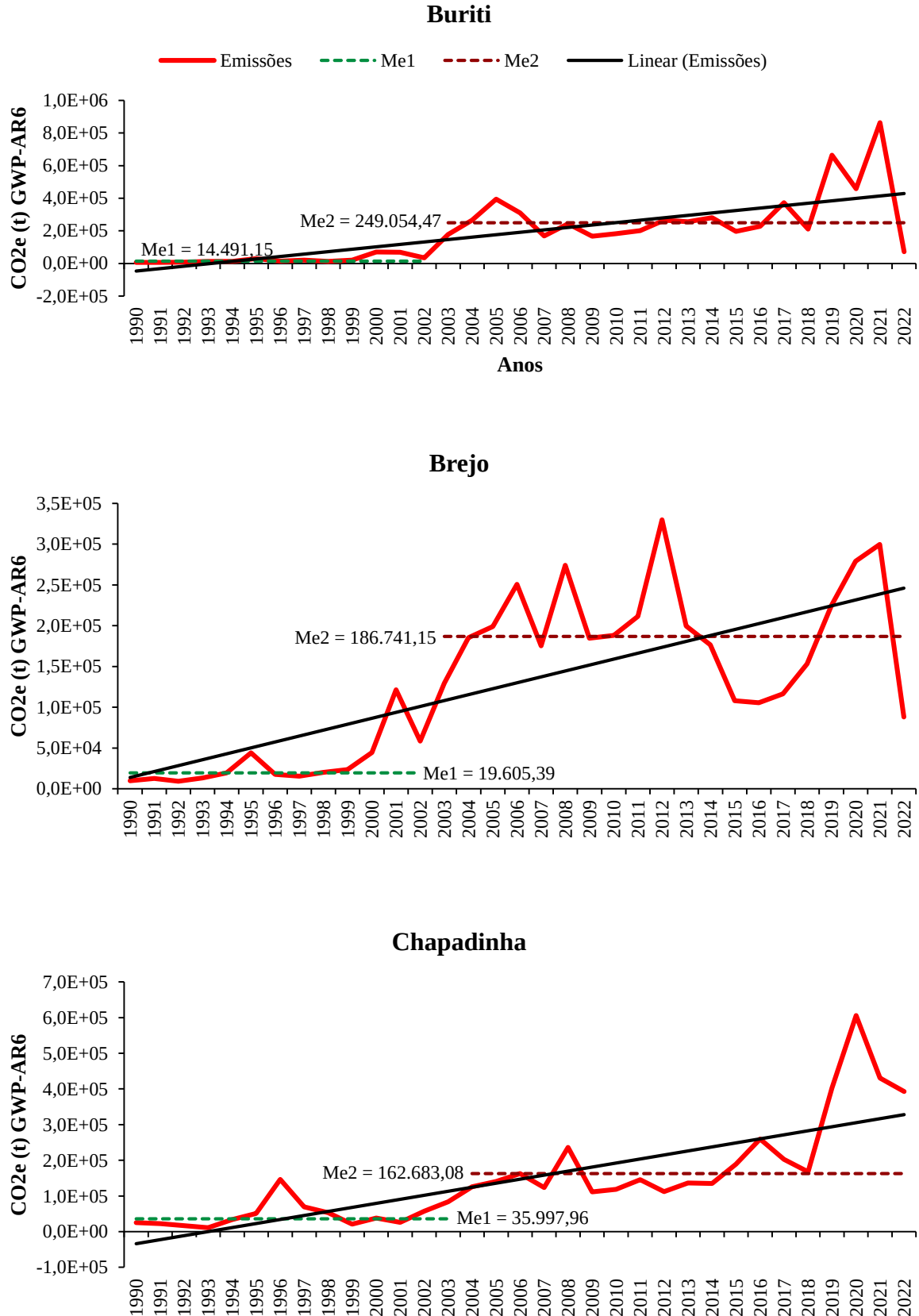
M. Maranhão: Milagres do Maranhão; S. B. Rio Preto: São Benedito do Rio Preto; ¹intervalo de confiança de 0,95 ($\alpha = 0,05$); ACK_T : ano correspondente ao ponto de mudança K_T ; Me1 (Me2): mediana anterior (posterior) ao ponto de mudança; Var.: Variação. **Fonte:** Elaborado pelo autor (2024).

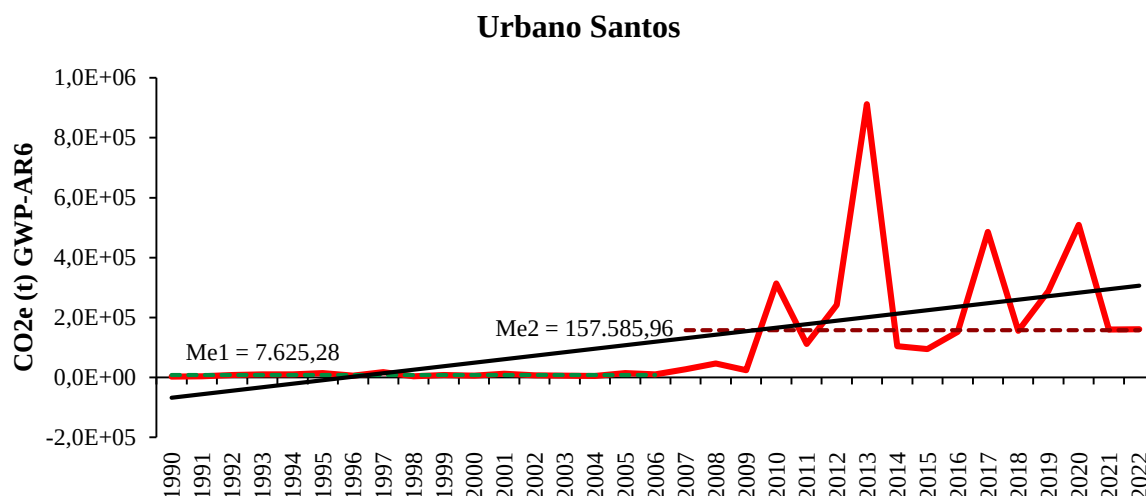
As emissões de GEE no setor de MUTF são geradas a partir dos processos de alterações do uso da terra e queima de resíduos florestais (Zimbres *et al.*, 2024). No primeiro processo as emissões acontecem quando é alterada a cobertura para um uso da terra de menor estoque de carbono por hectare, como pastagem ou agricultura, por exemplo, gerando a emissão de CO₂ (IPCC, 2003; Zimbres *et al.*, 2024). Na queima de resíduos florestais as emissões ocorrem a partir da queima da biomassa florestal, que além do CO₂, também gera a emissão de metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), ambos com maior capacidade de acelerar o efeito estufa em comparação com o CO₂ (Zimbres *et al.*, 2024).

Os dados da produção agropecuária municipal do IBGE (<https://cidades.ibge.gov.br/>) mostram que já na década de 1990 havia algum nível de produção na microrregião de Chapadinha, contudo, concentrada na área da pecuária. A partir do início da década de 2000 a exploração de culturas temporárias, sobretudo soja, começou a se intensificar rapidamente, colocando atualmente os municípios de Buriti e Brejo entre os maiores produtores do Leste Maranhense (IBGE, 2023).

Entre 2000 e 2022 os municípios de Buriti, Chapadinha, Brejo e Urbano Santos, os quatro maiores emissores de GEE da microrregião, desmataram o equivalente a 43,55% (642,76 km²), 20,95% (680,21 km²), 39,72% (426,35 km²) e 34,33% (586,17 km²) de suas áreas (PRODES/INPE, 2024), convertidas essencialmente em pastagens e lavouras temporárias, principalmente para a produção de soja (MapBiomass, 2023). Estas alterações de uso da terra com suas respectivas intensidades e/ou proporções também foram observadas para os demais municípios da microrregião. A (Figura 13) mostra os gráficos de tendência das emissões de GEE do setor de MUTF nos municípios de Buriti, Chapadinha, Brejo e Urbano Santos.

Figura 13. Tendência das emissões de gases de efeito estufa do setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas entre 1990 e 2022 nos municípios de Buriti, Chapadinha, Brejo e Urbano Santos (maiores emissores) da microrregião de Chapadinha.





Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

6. CONCLUSÃO

A mesorregião Leste, dentre as cinco que compõem o estado do Maranhão, foi a que menos emitiu gases de efeito estufa no setor de Mudanças do Uso da Terra e Florestas entre 1990 e 2022, porém, é a mesorregião com a maior tendência de aumento, sendo 2004 o ano correspondente ao ponto significativo de mudança do comportamento das emissões.

No Leste Maranhense, as microrregiões de Caxias, Chapadas do Alto Itapecuru, Codó e Chapadinha foram as que mais emitiram gases de efeito estufa no setor de Mudanças de Uso da Terra e Florestas entre 1990 e 2022. Além disso, todas as microrregiões estão com tendência de aumento nas emissões, tendo mudança significativa no seu comportamento entre os anos de 2002 e 2004.

Na microrregião de Chapadinha, os municípios em que ocorreram as maiores quantidades emitidas de gases de efeito estufa no setor de Mudanças de Uso da Terra e Florestas entre 1990 e 2022 foram Buriti, Chapadinha, Brejo e Urbano Santos. Todos os municípios da microrregião estão com tendência de aumento nas emissões, onde a maioria apresentou ponto de mudança significativo nas taxas de emissões anuais entre 2002 e 2004.

REFERÊNCIAS

- ABONIZÍO, M. G; FRANÇA, D; NUNES, J. O. Dinâmica do uso e da cobertura da terra e a expansão da cana-de-açúcar no município de Ouro Verde (SP) entre os anos de 2004 a 2018. *Geo Textos*, [S. l.], v. 19, p. 125-148, 2023.
- ALENCAR, A.; SHIMBO, J. Z.; LENTI, F.; MARQUES, C. B. *et al.* Mapping Three Decades of Changes in the Brazilian Savanna Native Vegetation Using Landsat Data Processed in the

Google Earth Engine Platform. **Remote Sensing**, [S. l.], v. 12, p. 1-23, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12060924>.

ALMEIDA, J. G.; MATTOS-JÚNIOR, J. S. “Pra Cá Tem Campo E Pra Cá Também Tem Campo, Aí Nós Fica Aqui No Meio”¹: o campesinato frente a expansão da soja na Microrregião de Chapadinha (MA)². **Revista do Curso de História de Araguaína**, [S. l.], v. 13, n. 1, p. 121-142, 2021.

ALMEIDA, J. G.; SODRÉ, R. B.; MATTOS-JÚNIOR, J. S. O MATOPIBA nas Chapadas Maranhenses: Impactos da Expansão do Agronegócio na Microrregião de Chapadinha. **Revista Nera**, [S. l.], v. 22, n. 47, p. 248-271, 2019.

ALMEIDA, R. G.; ALVES, F. V. **Diretrizes Técnicas para Produção de Carne com Baixa Emissão de Carbono Certificada em Pastagens Tropicais: Carne Baixo Carbono (CBC)**. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2020. 1ª ed. 36 p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1120985>. Acesso em: 01 jul. 2024.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M. Modeling monthly mean air temperature for Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, [S. l.], v. 113, p. 407-427, 2013a. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0796-6>.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen’s climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [S. l.], v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013b. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

ARAÚJO, M. L. S. **Dinâmica Espaço-Temporal da Cultura de Soja na Região do MATOPIBA, Brasil (1990-2015)**. (Dissertação Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geociências aplicadas e Geodinâmica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2018.

IPAM - AMAZON ENVIRONMENTAL RESEARCH INSTITUTE (IPAM). “The air is unbearable”: health impacts of deforestation-related fires in the Brazilian Amazon. Nova Iorque: HRW, IEPS, IPAM, 2020. Disponível em: https://ipam.org.br/wp-content/uploads/2020/08/brazil0820_web.pdf. Acesso em: 21 jun. 2024

ATTA-UR-RAHMAN; DAWOOD, M. Spatio-statistical analysis of temperature fluctuation using Mann–Kendall and Sen’s slope approach. **Climate Dynamics**, [S. l.], v. 48, p. 783-797, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3110-y>.

AZEVEDO, T. R. de *et al.* SEEG initiative estimates of Brazilian greenhouse gas emissions from 1970 to 2015. **Scientific Data**, [S. l.], v. 5, p. 1-43, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.45>.

BAPTISTA, I. S. Mudanças no Uso e Cobertura da Terra no Sul do Maranhão entre os anos de 1995 e 2015. **(Trabalho de Conclusão de Curso)** - Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília. Brasília-DF, 2015.

BARBOSA, B. B.; COELHO, C. J. C.; MORAES, L. A.; SANTOS, L. A. Unidades de Conservação no Brasil: um enfoque para a Região dos Cocais, no Leste Maranhense. **Research, Society and Development**, [S. l.] v. 9, n. 9, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7473>.

BRAGANÇA, A. The economic consequences of the agricultural expansion in matopiba. **Revista Brasileira de Economia**. Rio de Janeiro, RJ. v. 72, n. 2, p. 161-185, 2018.

BRASIL. **Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009.** Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. Brasil, 2009.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Brasil, 2012b.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono)** / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério do Desenvolvimento Agrário, coordenação da Casa Civil da Presidência da República. – Brasília: MAPA/ACS, 2012a. 173 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária 2020-2030: Plano Operacional** / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação. – Brasília: Mapa/DEPROS, 2021. 133p.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA. **Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm): 5ª fase (2023 a 2027)** [recurso eletrônico] / Subcomissão Executiva do PPCDAm. Brasília, DF: MMA, 2023. 119 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA. **Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas no bioma cerrado (PPCerrado): 4ª fase (2023 a 2027)** [recurso eletrônico] – Brasília: MMA, 2023. 97 p.

BRASIL - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Diretrizes para uma estratégia nacional para neutralidade climática.** Secretaria de Clima de Relações Internacionais, Brasília, 2022.

BRASIL-NETO, R. M.; SANTOS, C. A. G.; SILVA, J. F. C. B. D. C.; SILVA, R. M. da; SANTOS, C. A. C. dos; MISHRA, M. Evaluation of the TRMM product for monitoring drought over Paraíba State, northeastern Brazil: a trend analysis. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 11, n. 1097, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80026-5>.

BRITO, L. C. R. **Indicadores de qualidade do solo, gases de efeito estufa e rendimento de culturas graníferas e forrageiras em sistemas agrícolas conservacionistas.** 2021. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2021.

CAMPELO, G. J. Vantagens competitivas da exploração da soja no cerrado do Nordeste do Maranhão. **Embrapa Meio-Norte**, p. 2, Teresina Piauí, 2000.

CARNEIRO, M. S. A expansão e os impactos da soja no Maranhão. In: SCHLESINGER, S; NUNES, S.P; CARNEIRO, M.S. **A agricultura familiar da soja na região Sul e o monocultivo no Maranhão: duas faces do cultivo da soja no Brasil.** Rio de Janeiro: FASE, p. 75-143, 2008.

CARVALHO, T. S.; DOMINGUES, E. P. Impactos Econômicos e de Uso do Solo de uma Política de Controle de Desmatamento na Amazônia Legal brasileira. **42º Encontro nacional de economia–ANPEC**, 2016.lei

CERQUEIRA, E. B.; GOMES, J. A. Expansão Agropecuária e Dinâmicas de Uso e Cobertura do Solo no Piauí. **Geo UERJ**, [S. l.] n. 42, ed 69241. 2023. DOI: <https://doi.org/10.12957/geouerj.2023.69241>.

CORRÊA, W. C.; RIBEIRO, B. S. B.; RODRIGUES, A. A. *et al.* Mapa de classificação climática Thornthwaite para o Leste maranhense. **Revista Geográfica Acadêmica**, [S. l.] v. 18, n.1, p. 113-135, 2024.

COSER, T. R.; FIGUEIREDO, C. C.; JONANOVIC, B.; MOREIRA, T. N. *et al.* Short-term buildup of carbon from a low-productivity pastureland to na agrisilviculture system in the Brazilian savannah. **Agricultural systems**, Amsterdam, [S. l.] v. 166, p. 184-195, 2018.

CORRÊA, W. C.; CARVALHO, M. W. L.; MENDES, T. J. Atualização da classificação climática e balanço hídrico climatológico no Estado do Maranhão. **Revista Brasileira de Climatologia**, Campina Grande, v. 32, n. 19, p. 517-543, 2023. DOI: <https://doi.org/10.55761/abclima.v32i19.16727>.

CRUZ, A. P. S.; SANDER, N. L.; OLIVEIRA, A. B.; FERREIRA, I. G. M. **Soja Sustentável no Leste Maranhense: Realidade e Perspectivas**. - 1ª ed. Curitiba: Editora CRV, 2023. 92 p. DOI: [DOI 10.24824/978652515216.5](https://doi.org/10.24824/978652515216.5)

DAS, D. P.; KOTHARI, K.; PANDEY, A. Comprehensive analysis of spatiotemporal variability of rainfall-based extremes and their implications on agriculture in the Upper Ganga Command Area. **Environmental Monitoring and Assessment**, [S. l.], v. 196, n. 111, p. 1-26, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-023-12265-8>.

DAS, J.; MANDAL, T.; RAHMAN, A. T. M. S.; SAHA, P. Spatio-temporal characterization of rainfall in Bangladesh: an innovative trend and discrete wavelet transformation approaches. **Theoretical and Applied Climatology**, [S. l.], v. 143, p. 1557-1579, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03508-6>.

DOMINGUES, S. C. O.; SILVA, I. C. O.; SANTOS, J. S.; YAMASHITA, O. M.; CARVALHO, M. A. C. Dinâmica do arco do desmatamento: fronteiras agrícolas. **Scientific Electronic Archives**, [S. l.], v. 13, n. 8, p. 104-110, 2020. DOI: <https://dx.doi.org/10.36560/13820201035>.

DUHAN, D.; PANDEY, A. Statistical analysis of long term spatial and temporal trends of precipitation during 1901–2002 at Madhya Pradesh, India. **Atmospheric Research**, [S. l.], v. 122, p. 136-149, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.10.010>.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Geoweb Matopiba**. 2015. Disponível em: <http://mapas.cnpm.embrapa.br/matopiba2015/>. Acesso em: 20 jun. 2024.

FEARNSIDE, P. M. **Destruição e Conservação da Floresta Amazônica**. – 1ª ed. Manaus: Editora do INPA, 2022. 356p.

FEITOSA, M. M.; SOUSA E. C.; NASCIMENTO, L.; LEMOS, J. J. S. A soja no estado do Maranhão, Brasil: uma análise temporal da expansão e substituição das culturas alimentares. **Geografes**, [S. l.]. online. v. 3, n. 37 jul - dez, 2023. Disponível em: <http://journals.openedition.org/geografes/9884>. Acesso: 18 jun. 2024.

FERREIRA, A. B. R.; PEREIRA, G.; FONSECA, B. M.; CARDOZO, F. S. As mudanças no uso e cobertura da terra na região oeste da Bahia a partir da expansão agrícola. **Formação (Online)**, [S. l.] v. 28, n. 53, p. 389-412, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33081/formacao.v28i53.7871>

FERREIRA, V. G. S.; FUSHIMI, M.; FERREIRA, L. C. Mudanças de Usos da Terra nos Anos de 1985, 2010 e 2020 na Microrregião de Caxias – Ma. *Revista Contexto Geográfica*, [S. l.], v. 9, n. 18, p. 156-172, Abr 2024.

GASPAR, R. B. **O eldorado dos gaúchos: deslocamento de agricultores do Sul do País e seu estabelecimento no Leste Maranhense**. São Luís: EDUFMA, p. 180, 2013.

GATTI, L.; CUNHA, C.; MARANI, L.; CASSOL, H.; MESSIAS, C.; ARAI, E.; BASSO, L.; SOLER, L.; ALMEIDA, C.; SETZER, A.; DOMINGUES, L.; DENNING, S.; MILLER, J.; GLOOR, M.; CORREIA, C.; TEJADA, G.; NEVES, R.; RAJÃO, R.; NUNES, F.; SOARES-FILHO, B.; SCHMITT, J.; NOBRE, C.; CORREA, S.; SANCHEZ, A.; ARAGÃO, L.; ANDERSON, L.; VON RANDOW, C.; CRISPIM, S.; SILVA, F.; MACHADO, G. Amazon carbon emissions double mainly by dismantled in law enforcement.

Research Square, 2022. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2023624/v1>

GELINSKI, F. N.; GELINSKI, C. R. O. G; GELINSKI, E. J. A contribuição catarinense para a redução de gases de efeito estufa: Lei do Biogás. **Revista Catarinense de Economia**, [S. l.] v. 3, n. 1, p. 56-73, 2019. DOI: <https://doi.org/10.54805/RCE.2527-1180.v3.n1.60>.

GOMES, F. C. R.; NASCIMENTO, S. M. V. Geografia e Gênero no Cerrado Maranhense: o Trabalho das Mulheres em Meio ao Capital no Campo. **Revista Latino-Americana de Geografia e Gênero**, [S. l.] v. 14, n.2, p. 217237, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5212/Rlagg.v.14.i2.0011>

HOLANDA, F. **Dinâmica da economia maranhense nos últimos 25 anos**. São Luís: IMESC, 2008 (Cadernos IMESC, n. 4).

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Biomass**. 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/15842-biomass.html?=&t=downloads>. Acesso em: 20 jun. 2024.

IBGE -INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapas**. 2022. Disponível em: <<https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#homepage>>. Acesso em: 15 abr. 2024.

IBGE -INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da Pecuária Municipal 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 15 jun. 2024.

IBGE -INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. **Sistema IBGE de recuperação automática – SIDRA**: Produção Agrícola Municipal. 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/1612>. Acesso: 02 jul. 2024.

IMESC – Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos. **Agricultura Maranhense**. DATAMEC. 2021. Acesso em: 01 agosto. 2024. Disponível em: <https://dataimesc.imesc.ma.gov.br/series/29/show>

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **TerraBrasilis: PRODES** (Desmatamento). 2024. Disponível em: <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/map/deforestation?hl=pt-br>. Acesso em: 20 jun. 2024.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Genebra, Suíça, 2003.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2023: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, p. 1-34, 2023. DOI: <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>.

JANSEN, L. N. S. **Potencial Agrícola e Usos dos Solos na Microrregião de Caxias-Maranhão-Brasil**. (Dissertação de Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGGEO), Universidade Federal do Maranhão (UFMA), São Luís, 2022.

KENDALL, M. G. **Rank correlation methods**. 4th edn. Charles Grifn, London, 1975.

KISI, Ö., SANTOS, C. A. G.; SILVA, R. M. da; ZOUNEMAT-KERMANI, M. Trend analysis of monthly streamflows using Şen's innovative trend method. **Geofizika**, [S. l.], v. 35, n. 1, p. 53-68, 2018. DOI: <https://doi.org/10.15233/gfz.2018.35.3>.

KUMAR, N.; TISCHBEIN, B.; BEG, M. K. Multiple trend analysis of rainfall and temperature for a monsoon-dominated catchment in India. **Meteorology and Atmospheric Physics**, [S. l.], v. 131, n. 4, p. 1019-1033, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00703-018-0617-2>.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, New York, [S. l.] v. 304, n. 5677, p. 1623-1627, 2004.

LEMOES, J. J. S. Efeitos de expansão da soja na resiliência da agricultura familiar no Maranhão. **Revista Política Agrícola**, n. 2, 2015.

LIMA, J. R. F.; SANTOS, E. G.; LUCENA, R. F. P. Mudanças Climáticas e Impactos nas Populações Humanas: uma revisão. **Revista Científica Campo do Saber**, [S. l.] v.10, n.1, p. 2447-5017, 2024.

MALIK, A.; KUMAR, A. Spatio-temporal trend analysis of rainfall using parametric and non-parametric tests: Case study in Uttarakhand. India. **Theoretical and Applied Climatology**, [S. l.], v. 140, p. 183-207, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-019-03080-8>.

MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica**, [S. l.], v. 13, p. 245-259, 1945. DOI: <https://doi.org/10.2307/1907187>.

MapBiomass. **Relatório Anual de Desmatamento 2019**. São Paulo, SP, 2020. 49 p. Disponível em: <http://alerta.mapbiomas.org>. Acesso em: 20 jun. 2024.

_____. **Cobertura e Uso da Terra**: Coleção 8 do MapBiomass, 2023. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/>. Acesso em: 20 jun. 2024.

_____. **RAD2023: Relatório Anual do Desmatamento no Brasil 2023**. São Paulo, Brasil, 2024. 154 p. Disponível em: <http://alerta.mapbiomas.org>. Acesso em: 20 jun. 2024.

_____. **Relatório Anual de Desmatamento 2021**. São Paulo, Brasil, 2022. 126 p. Disponível em: <http://alerta.mapbiomas.org>. Acesso em: 20 jun. 2024.

_____. **Relatório Anual de Desmatamento 2022**. São Paulo, Brasil, 2023. 125 p. Disponível em: <http://alerta.mapbiomas.org>. Acesso em: 20 jun. 2024.

_____. **Relatório Anual do Desmatamento no Brasil 2020**. São Paulo, Brasil, 2021. 93 p. Disponível em: <http://alerta.mapbiomas.org>. Acesso em: 20 jun. 2024.

MARENGO, J. A.; SOUZA, C. . **Mudanças Climáticas: impactos e cenários para a Amazônia**. São Paulo, 2018. Disponível em: https://www.oamanhae hoje.org.br/assets/pdf/Relatorio_Mudancas_Climaticas-Amazonia. Acesso: 28 jun. 2024.

MELO, V. S.; SINFRÔNIO, F. S. M. A importância dos inventários do programa GHG Protocol para a gestão das emissões ambientais: estudo de caso do Maranhão. **Natural Resources**, v.8, n.2, p.38-51, 2018. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2237-9290.2018.002.0005>.

MISHRA, M.; GURIA, R.; ACHARYYA, T.; DAS, U.; SANTOS, C. A. G.; SILVA, R. M. da; LAKSONO, F. A. T.; KUMARI, R. Spatiotemporal analysis of lightning flash clusters and fatalities between 2000 and 2020 over West Bengal, India. **Natural Hazards**, [S. l.], v. 120, p. 3533-3564, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-023-06347-6>.

MOHAPATRA, J. B.; SAHU, A. P.; ROUT, B.; BARAL, S. S.; DAS, D. P. Analysis of long-term rainfall patterns using high-resolution atmospheric data over Odisha. **Arabian Journal of Geosciences**, [S. l.], v. 14, n. 21, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12517-021-08528-8>.

MOREIRA, L.; GOMES, J.; PIRES, I.; VALE, S. Diagnóstico Socioeconômico, produtivo e Ambiental da Microrregião de Chapadinha, Maranhão. **Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, IPAM**. 2021.

MUSE, N. M.; TAYFUR, G.; SAFARI, M. J. S. Meteorological Drought Assessment and Trend Analysis in Puntland Region of Somalia. **Sustainability**, [S. l.], v. 15, p. 1-23, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/su151310652>.

NASCIMENTO, S. M. A reprodução do campesinato em Brejo (MA) e a participação das agricultoras familiares camponesas frente à expansão da monocultura de soja: duas lógicas de desenvolvimento. **Tese (Doutorado em Políticas Públicas)** – Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, p. 330, 2011.i

PETTITT, A. N. Non-Parametric Approach to the Change-Point Problem. **Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)**, [S. l.], v. 28, n. 2, p. 126-135, 1979. DOI: <https://doi.org/10.2307/2346729>.

PIRES, I. C. G. **Fluxo dos gases de efeito estufa em áreas convertidas para a produção de soja no Cerrado maranhense**. 2021. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Ciências, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2021.

POTENZA, R. F.; QUINTANA, G. de O.; CARDOSO, A. M.; TSAI, D. S. *et al.* **Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil (1970-2020)**. Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG), 2021. Disponível em: <https://energiaambiente.org.br/produto/analise-das-emissoes-brasileiras-de-gases-de-efeito-estufa-e-suas-implicacoes-para-as-metas-climaticas-do-brasil-1970-2020>.

Acesso em: 28 mai. 2024.

POTENZA, R. F.; QUINTANA, G. O.; CARDOSO, A. M.; TSAI, D. S. *et al.* **Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil (1970-2021)**. Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG), 2023. Disponível em: <https://energiaambiente.org.br/wp-content/uploads/2023/04/SEEG-10-anos-v5.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2024.

QUINTÃO, J. M.B.; CANTINHO, R. Z.; ALBUQUERQUE, E. R. G. M. de; MARACAHIPES, L.; BUSTAMANTE, M. M. C. Mudanças do uso e cobertura da terra no Brasil, emissões de GEE e políticas em curso. **Ciência e Cultura**, [S. l.], v. 73, n. 1, p. 18-24, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602021000100004>.

R Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for STATISTICAL COMPUTING, VIENNA, AUSTRIA. <https://www.r-project.org/>. 2023.

REGO, A. K. C.; KATO, O. R. Agricultura de corte e queima e alternativas agroecológicas na Amazônia. **Novos Cadernos NAEA**, [S. l.], v. 20, n. 3, p. 203-224, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.5801/ncn.v20i3.3482>.

RESENDE, F. M.; MORIN, J. C.; POULIN, M.; MEYER, L.; LOYOLA, R. Consequences of delaying actions for safeguarding ecosystem services in the Brazilian Cerrado. **Biological Conservation**, [S. l.] v. 234, p. 90 – 99. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.03.009>.

ROCHA, S. F.; OTTATI, A. M. A. A. Dinâmica da Produção Agrícola maranhense entre os anos de 1990 e 2017. **Revista Econômica, NE**, [S. l.] v. 54, n. 2, p. 31-51, abr/jan, 2023.

SALAS, J. D. Analysis and modelling of hydrologic time series. In: **Handbook of Hydrology**; MAIDMENT, D. R., Ed.; McGRAW-HILL: New York, NY, USA, 1993.

SALTON, J. C.; MERCANTE, F. M.; TOMAZI, M.; ZANATTA, J. A. *et al.* Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, [S. l.] v. 190, p. 70-79, 2014.

SANT-ANNA, S. A.; JANTALIA, C. P.; SA, J. M.; VILELA, L. *et al.* Changes in soil organic carbon during 22 years of pastures, cropping or integrated crop/livestock systems in the Brazilian Cerrado. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 108, n. 1, p. 101-120, 2017.

SANTOS, C. A. G.; BRASIL-NETO, R. M.; SILVA, R. M. da; PASSOS, J. S. de A. Integrated spatiotemporal trends using TRMM 3B42 data for the Upper São Francisco River basin, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, [S. l.], v. 190, n. 175, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6536-3>.

SANTOS, C. A. G.; DO NASCIMENTO, T. V. M.; DA SILVA, R. M. Analysis of forest cover changes and trends in the Brazilian semiarid region between 2000 and 2018. **Environmental**

Earth Sciences, [S. l.], v. 79, n. 418, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-020-09158-1>.

SEN, P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau. **Journal of the American Statistical Association**, [S. l.], v. 63, n. 324, p. 1379-1389, 1968. DOI: <https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>.

SHADMANI, M.; MAROFI, S.; ROKNIAN, M. Trend Analysis in Reference Evapotranspiration Using Mann-Kendall and Spearman's Rho Tests in Arid Regions of Iran. **Water Resources Management**, [S. l.], v. 26, p. 211-224, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9913-z>.

SILVA, C. A. A. C.; OLIVEIRA, L. A.; CASTRO, M. P. P.; OLIVEIRA, A. K. S. *et al.* Análise da dinâmica no uso da terra maranhense na Amazônia Legal. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento**, [S. l.], v.14, n. 3, jul-set, p. 443-542, 2019. DOI: [10.18378/rvads.v14i3.6550](https://doi.org/10.18378/rvads.v14i3.6550).

SILVA, W. A. D.; SANTANA, J. S.; SILVA, C. M.; NUNES, A. A. Crop coefficient regionalization for irrigated agriculture planning in Maranhão state-brazil. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, SP. v. 37, n. 5, p. 953-960, 2017.

SILVA, F. C. DOS; INTROVINI, G. R.; SILVA, W. J. S.; SEDYAMA, T. *et al.* **Melhoramento da Soja no Maranhão. In: melhoramento da soja no brasil**. Viçosa, MG. Ufv,. P. 283-294. 2021

SILVA, G. S. F. **Desempenho agrônômico e dinâmica da água no solo no consórcio milho – braquiária**. 2019. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós Graduação em Agronomia. Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2019.

SIQUEIRA-NETO, M.; POPIN, G. V.; PICCOLO, M. C.; CORBEELS, M. *et al.* Impacts of land use and cropland management on soil organic matter and greenhouse gas emissions in the Brazilian Cerrado. **European Journal of Science**, Oxford, v. 72, n. 3, p. 1431-1446, 2020.

SEEG - SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. (SEEG). **Nota técnica: Impacto da pandemia de Covid-19 nas emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil. 2020**. Disponível em: <https://energiaambiente.org.br/wp-content/uploads/2020/05/notatecnicageebrasilpandemia.pdf>. Acesso: 28 mai. 2024.

SEEG - SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. **Plataforma**. 2024. Disponível em: < <https://plataforma.seeg.eco.br/>>. Acesso em: 15 abr. 2024.

TIWARI, H.; PANDEY, B. K. Non-parametric characterization of long-term rainfall time series. **Meteorology and Atmospheric Physics**, [S. l.], v. 131, n. 3, p. 627-637, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00703-018-0592-7>.

TSAL, D.; POTENZA, R.; QUINTANA, G.; CARDOSO, A. M. *et al.* **Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil, 1970-2022**. Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG), 2023. 34 p. Disponível em: < <https://seeg.obass.info/relatorios/>>. Acesso em: 14 abr. 2024.

ZHENG, X.; LU, Y.; MA, C.; YUAN, J. *et al.* Greenhouse gas emissions from extractive industries in a globalized era. **Journal of Environmental Management**, [S. l.] v. 343, p. 118172. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118172>.

ZIMBRES, B.; SOUZA, E.; SHIMBO, J.; SILVA, C. *et al.* **Setor Mudanças de Uso da Terra e Florestas**. Nota Metodológica, SEEG 11, Versão 2, 2024. Disponível em: <https://seeg.eco.br/metodologia/>. Acesso em: 20 jun. 2024.