



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO – UFMA
CENTRO DE CIÊNCIAS DE CHAPADINHA – CCCh
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**PROPENSÃO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO SETOR DE
MUDANÇA DO USO DA TERRA E FLORESTAS NO BRASIL**

ATACILIA MOTA SOUSA

CHAPADINHA-MA

2024

ATACILIA MOTA SOUSA

**PROPENSÃO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO SETOR DE
MUDANÇA DO USO DA TERRA E FLORESTAS NO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado à banca examinadora na Universidade
Federal do Maranhão, Centro de Ciências de
Chapadinha, como requisito para a obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

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

Coorientador: Wellington Cruz Corrêa

CHAPADINHA-MA

2024

FOLHA DE APROVAÇÃO

ATACILIA MOTA SOUSA

PROPENSÃO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO SETOR DE MUDANÇA DO USO DA TERRA E FLORESTAS NO BRASIL

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado à banca examinadora na Universidade
Federal do Maranhão, Centro de Ciências de
Chapadinha, como requisito para a obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

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

Coorientador: Wellington Cruz Corrêa

Aprovado em: 17 / 09 / 2024

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^ª. Daiane Fossati Dall'Oglio
Universidade Federal do Maranhão – UFMA
Orientadora

Prof^ª. Dr^ª. Luma Castro de Souza
Universidade Federal do Maranhão - UFMA
Examinador 1

Prof. Dr. Jomar Livramento Barros Furtado
Universidade Federal do Maranhão - UFMA
Examinador 2

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

Mota Sousa, Atacilia.

PROPENSÃO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO
SETOR DE MUDANÇA DO USO DA TERRA E FLORESTAS NO BRASIL /
Atacilia Mota Sousa. - 2024.

53 f.

Coorientador(a) 1: Wellington Cruz Corrêa.

Orientador(a): Daiane Fossatti Dalloglio.

Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do
Maranhão, Chapadinha-ma, 2024.

1. Inventário de Emissões. 2. Compromissos
Climáticos. 3. Contribuição Nacional Determinada (ndc).
4. Projeção de Emissões. 5. . I. Cruz Corrêa,
Wellington. II. Fossatti Dalloglio, Daiane. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda e sincera gratidão, primeiramente, a Deus por todas as bênçãos e oportunidades que me foram concedidas ao longo dessa jornada. Sem sua graça, nada disso seria possível.

À minha querida família, minha mãe Cleonice Mota, meu pai Francisco Alves e meus irmãos Ludengard Mota e Rodrigo Mota, que são a base de tudo. O amor incondicional, o apoio constante e as palavras de encorajamento de todos vocês foram fundamentais para que eu pudesse chegar até aqui.

Um agradecimento especial para Olivia Alves, Fabíola Monteles, Edilene Vieira, Odaleia Alves, Elizete Soares, Francisco Araújo e Rafael Simão, pela ajuda, incentivo e apoio. Vocês foram indispensáveis e fizeram toda a diferença nos momentos mais desafiadores.

Aos meus queridos amigos, Janine Castro, Antônia Ivanaria, Larissa Araújo, Enzo Laércio, Caio Raniele, Gerardo Aurélio, João Mateus, Mateus Oliveira, Elves Carneiro, Elinalva Silva, Silvia Adriana, Luiziane Sousa, Luciana Paulino e Lavínia Sarnento. Agradeço a todos pela amizade, companheirismo e apoio emocional, vocês foram inestimáveis e sou eternamente grata por tê-los ao meu lado.

Aos meus professores, expresso minha profunda gratidão pelo conhecimento compartilhado e pela orientação ao longo de todo o caminho. Suas lições e sabedoria moldaram meu aprendizado e crescimento pessoal.

Minha sincera e especial gratidão à minha orientadora Daiane Fossatti Dall'Oglio e ao meu coorientador Wellington Cruz. Suas orientações, paciência, apoio contínuo e incentivo foram essenciais para o sucesso deste projeto. Não poderia ter chegado aqui sem a sua valiosa ajuda e dedicação.

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

A todos, meu mais profundo e sincero obrigado.

RESUMO

O Brasil se comprometeu a reduzir suas emissões de gases de efeito estufa (GEE) por meio da Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) até 2030, e zerar até 2050, em todos os setores emissores, especialmente no de Mudança de Uso da Terra e Florestas (MUTF), o maior emissor. Neste estudo foram analisadas as tendências de emissões de GEE do Brasil no setor de MUTF, de 1990-2022. Os dados foram adquiridos do Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa, para cada estado brasileiro e o Distrito Federal. No software R, analisou-se as tendências das séries temporais de emissões por meio do teste Mann-Kendall modificado, com suas magnitudes determinadas pelo teste de inclinação de Sen, e o ponto de mudança (ano) em seu comportamento por meio do teste Mann-Whitney-Pettitt. Dados do Amazonas, Piauí e Roraima estão com tendência de aumento nas emissões de GEE, com magnitudes de 1.619.138,83, 275.010,97 e 373.867,87, a partir de 2003 para o Piauí, e 2012 para Amazonas e Roraima houve mudanças. O estado do Acre está com tendência de aumento, porém, insignificativa. Amapá, Mato Grosso, Pará e Rondônia estão com tendência insignificativas. Os demais estados e o Distrito Federal com tendências significativas de diminuição das emissões, o Mato Grosso do Sul apresenta a maior magnitude de tendência (-2.279.846,08). Todas as Regiões estão com tendência significativa de queda, exceto a Região Norte. Com isto o setor de MUTF, na maioria dos estados estão colaborando para as metas da NDC sejam cumpridas, porém talvez não no prazo previsto.

Palavras-chave: Inventário de emissões; Compromissos climáticos; Contribuição Nacional Determinada (NDC); Projeção de emissões.

ABSTRACT

Brazil has committed to reducing its greenhouse gas (GHG) emissions through the Nationally Determined Contribution (NDC) by 2030, and reaching zero by 2050, in all emitting sectors, especially in Land Use Change and Forestry (MUTF), the largest emitter. This study analyzed Brazilian GHG emissions trends in the MUTF sector, from 1990-2022. The data was acquired from the Greenhouse Gas Emission Estimation System, for each Brazilian state, and the Federal District. Using the R software, trends in emission time series were analyzed using the modified Mann-Kendall test, with their magnitudes determined by Sen's slope test, and the point of change (year) in their behavior using the Mann test -Whitney-Pettitt. Data from Amazonas, Piauí and Roraima show an increasing trend in GHG emissions, with magnitudes of 1,619,138.83, 275,010.97 and 373,867.87, from 2003 for Piauí, and 2012 for Amazonas and Roraima there were changes. The state of Acre has an increasing trend, however, insignificant. Amapá, Mato Grosso, Pará and Rondônia have insignificant trends. Of the other states and the Federal District with significant decreasing trends in emissions, Mato Grosso do Sul has the highest trend magnitude (-2,279,846.08). All Regions have a significant downward trend, except the North Region. As a result, the MUTF sector, in most states, is collaborating to ensure that the NDC goals are met, but perhaps not within the expected deadline.

Keywords: Emissions inventory; Climate commitments; Nationally Determined Contribution (NDC); Emissions projection.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização do Brasil.....	27
Figura 2 - Tendências das emissões de gases de efeito estufa do setor de Mudança do Uso da Terra e Florestas nos estados do Brasil e o Distrito Federal, entre 1990 e 2022.....	31
Figura 3 - Tendência das emissões de gases de efeito estufa do setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas entre 1990 e 2022, nos estados do Brasil e Distrito Federal, e Brasil em geral	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Estatísticas de tendência do teste Mann-Kendall modificado e Sen para as emissões brutas de gases de efeito estufa do setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas nos estados e Distrito Federal do Brasil entre 1990 e 2022.....	32
Tabela 2 - Estatísticas do teste de Pettitt para as emissões brutas de gases de efeito estufa do setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas nos estados e Distrito Federal do Brasil entre 1990 e 2022.	33

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	11
2.1	Geral.....	11
2.2	Específicos	12
3	REFERENCIAL TEÓRICO	12
3.1	Contribuição dos Gases de Efeito Estufa para o Aquecimento Global.....	12
3.2	Dinâmicas de Mudança do Uso da Terra e Florestas no Brasil	14
3.3	Compromissos e Políticas Ambientais do Brasil	15
3.4	Desafios e Oportunidades Atuais na Redução de Emissões de GEE.....	17
3.5	Perspectiva Comparativa dos estados brasileiros e o Distrito Federal	18
3.6	Planos de ação.....	20
3.6.1	PPCDAm	20
3.6.2	PPCerrado	21
3.6.3	Lei do Bioma Mata Atlântica.....	22
3.6.4	Plano ABC – Agricultura de Baixa Emissão de Carbono.....	23
3.6.5	PAN-Brasil.....	25
4	MATERIAL E MÉTODOS	26
4.1	Área de estudo	26
4.2	Base de dados.....	27
4.3	Análise de tendência das emissões	28
4.4	Teste Mann-Kendall modificado.....	28
4.5	Teste de inclinação de Sen	29
4.6	Teste de Pettitt.....	29
4.7	Variação entre as taxas de emissões de <i>antes</i> e <i>depois</i> do ponto de mudança	30
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1	Perspectivas para atual NDC do Brasil	41
6	CONCLUSÃO	42
	REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

De 2011 a 2020, a temperatura média da superfície global foi superior em 1,1 °C em relação à temperatura de 1850 a 1900, de acordo com o Sexto Relatório de Avaliação (AR6) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC (2023). A mudança do clima desde o Quinto Relatório de Avaliação (AR5) do IPCC (2014) vem sendo cada vez mais atribuída à influência humana, em função das imensas quantidades de gases de efeito estufa (GEE) emitidas para a atmosfera, principalmente por meio do uso insustentável de energia, uso da terra e mudança no uso da terra, causando aumento da seca agrícola e ecológica, incêndios, enchentes, precipitações intensas, recuo das geleiras, elevação do nível do mar, acidificação da superfície dos oceanos e extremos quentes (IPCC, 2014, 2023).

Em novembro de 2023, o Brasil submeteu ao Secretariado da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC) sua Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), atualizada, na qual confirma sua meta líquida absoluta de emissões de GEE de 1,32 giga toneladas de dióxido de carbono equivalente (GtCO₂e) em 2025, consistente com uma redução de 48,4% em relação a 2005, além de se comprometer com uma meta líquida absoluta de 1,20 GtCO₂e em 2030, consistente com uma redução de 53,1% em comparação com 2005, de acordo com as decisões relevantes da Conferência das Partes servindo como reunião das Partes do Acordo de Paris (CMA) (Brazil, 2023).

Em 2019, aproximadamente 22% das emissões globais de GEE vieram da agricultura, silvicultura e outros usos da terra (IPCC, 2023). No Brasil, no ano de 2022, segundo dados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) do Observatório do Clima (OC), as emissões brutas de GEE foram de 2.319 milhões de toneladas (Mt) de CO₂e, sendo 1.120 MtCO₂e (48%) derivadas do setor de Mudança do Uso da Terra e Florestas (MUT), medidas em Potencial de Aquecimento Global em cem anos (GWP-100), conforme as diretrizes do AR5 (Tsai *et al.*, 2023). Estas 2.319 MtCO₂e eram compostas de 1.557 MtCO₂e de dióxido de carbono (CO₂), 576 MtCO₂e de metano (CH₄), 176 MtCO₂e de óxido nitroso (N₂O) e 10 MtCO₂e dos demais GEE (SEEG, 2023).

Em 2013 o OC lançou a primeira versão da plataforma SEEG, que disponibiliza dados estimados de emissões de GEE do Brasil, abrangendo além do setor de MUT, os setores de Agropecuária, Energia, Processos Industriais e Resíduos, tanto a nível de região, bioma, estado e município (Azevedo *et al.*, 2018; SEEG, 2024). Trata-se do banco de dados com a maior cobertura temporal (1970-2022) e espacial de emissões de GEE para o Brasil, consistente e de fácil acesso (Azevedo *et al.*, 2018). Contudo, com exceção dos panoramas das emissões de GEE

para o Brasil elaborados pela equipe do SEEG, há uma nítida carência na literatura de estudos que utilizam tais dados para abordagens mais detalhadas, como análise de tendência de séries temporais, por exemplo.

Para analisar tendências em séries temporais, utilizam-se técnicas estatísticas paramétricas e não-paramétricas (Das; Kothari; Pandey, 2024). As técnicas não-paramétricas geralmente aplicadas são o teste de Mann-Kendall (MK), o teste de Mann-Kendall modificado (MKM) e o teste de inclinação de Sen (SS) (Kumar; Tischbein; Beg, 2019; Tiwari; Pandey, 2019). São testes eficazes em trabalhar com dados distorcidos e não sofrem influências de valores discrepantes (*outliers*) (Duhan; Pandey, 2013; Mohapatra *et al.*, 2021). Em casos em que os pontos de dados são autocorrelacionados entre si, o teste MKM possui a vantagem sobre o teste MK por eliminar a correlação serial em todas as defasagens, fornecendo conclusões mais precisas (Hamed; Rao, 1998; Pour; Wahab; Shahid, 2020; Swain; Mishra; Pandey, 2021), e por conta disso é utilizado no presente estudo.

Ainda, em séries temporais, a presença de pontos de mudança afeta os resultados da análise de tendência. Com isto, é essencial a determinação de tais pontos para se compreender melhor a variabilidade temporal dos dados (Das; Kothari; Pandey, 2024). Tais pontos de mudança e o nível de confiança associado geralmente são determinados pelo teste de Pettitt (1979), também não-paramétrico. O ponto de ruptura divide a série temporal em duas partes, pré e pós ponto de ruptura, indicando uma mudança brusca no comportamento dos dados (Pandey; Khare, 2018).

Portanto, considerando que o setor de MUT é o maior contribuinte para as emissões de GEE no Brasil, é de grande importância identificar a tendência, sua magnitude e o ponto de mudança no comportamento das emissões para cada estado do país e o país como um todo. A partir de tais análises pode-se determinar quais estados brasileiros estão contribuindo ou não para que o Brasil cumpra com seus compromissos internacionais e nacionais nos prazos previstos em sua NDC, para ajudar atenuar o aquecimento global promotor das mudanças climáticas, impulsionado pelas atividades antrópicas emissoras de GEE para atmosfera.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Analisar as tendências de emissões de gases de efeito estufa para o Brasil entre 1990 e 2022, por meio das séries temporais de emissões anuais de gases de efeito estufa do setor de

Mudança do Uso da Terra e Florestas disponibilizados pelo Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa.

2.2 Específicos

1. Determinar as tendências das emissões brutas de gases de efeito estufa de cada estado do Brasil e o Distrito Federal por meio do teste Mann-Kendall modificado;
2. Determinar a magnitude das tendências de emissões e seus respectivos ponto de mudança para cada estado e o Distrito Federal por meio do teste de inclinação de Sen e Pettitt, respectivamente;
3. Relacionar as possíveis causas que influenciaram o comportamento das emissões entre 1990 e 2022, e apontar perspectivas futuras para o Brasil.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Contribuição dos Gases de Efeito Estufa para o Aquecimento Global

Ressalta-se que o aquecimento global é um fenômeno climático de ampla abrangência, caracterizado pelo aumento da temperatura média da superfície terrestre, causado por fatores tanto internos quanto externos. Os fatores internos são complexos e envolvem sistemas climáticos que demandam atenção, pois apresentam características caóticas e não lineares. Esses fatores incluem a atividade solar, a composição físico-química da atmosfera, o tectonismo e o vulcanismo. Por outro lado, os fatores externos são de origem antropogênica e estão ligados à liberação de gases de efeito estufa, principalmente devido à queima de combustíveis fósseis, como carvão e derivados do petróleo, além das emissões de indústrias, refinarias, motores e queimadas (Silva; Paula, 2015).

Em escala global as principais fontes de emissão estão relacionadas as atividades de queima de combustíveis fósseis, como carvão, petróleo e gás natural. Outros fatores são desmatamentos e mudanças no uso da terra, ao grau que a vegetação é desmatada ou queimada. Com isso, o aumento de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera está ligado diretamente ao aumento das temperaturas em todo o mundo, fazendo com que haja uma significativa mudança climática, como descongelamento das geleiras que, consequentemente, eleva o nível dos mares. (IPCC 2023). As emissões de gases de efeito estufa (GEE) aumentaram em decorrência do crescimento demográfico e econômico. Segundo relatório anual do Global Carbon Budget, a União Europeia, os Estados Unidos, a China e a Índia são os países que mais emitiram CO₂ na atmosfera em 2023.

Tendo ciência de que o acréscimo na quantidade de gases responsáveis pelo efeito estufa presentes na atmosfera é o principal fator do fenômeno do aquecimento global, torna-se imprescindível encontrar uma forma de reduzir essa problemática. A atenuação do problema tem como propósito diminuir as emissões dos gases de efeito estufa como uma maneira de controlar os impactos nas mudanças climáticas, limitando, consequentemente, o aquecimento global (Sarkodie; Ahmed; Owusu, 2022).

No contexto das emissões de gases que contribuem para o efeito estufa, o Acordo de Paris foi estabelecido com o propósito de diminuir as emissões provenientes da queima de combustíveis fósseis e mudanças no uso da terra. Dentro desse acordo, foram criados diversos acordos conhecidos como Contribuição Nacionalmente Determinada (iNDC), nos quais os países envolvidos estabeleceram objetivos de redução de emissões até o ano de 2030 (Vital, 2018).

As emissões de GEE decorrentes da atividade humana são designadas como gases antropogênicos do efeito estufa. O grau de contribuição desses gases para o agravamento do efeito estufa está sujeito tanto à sua concentração na atmosfera terrestre (impacto) quanto à sua capacidade de aquecimento (efetividade). O impacto dos gases está diretamente ligado ao seu Potencial de Aquecimento Global (PAG), que quantifica o quanto esses gases aquecem o clima em comparação com a mesma quantidade de dióxido de carbono, em um determinado período (geralmente estabelecido em 100 anos) (Nelles e Serrer, 2021).

Os gases que contribuem para o efeito estufa não apenas causam danos de curto prazo, mas principalmente desencadeiam consequências em longo prazo, ou seja, terão efeitos por décadas em relação às alterações climáticas (Sarkodie; Ahmed; Owusu, 2022). Portanto, é de extrema importância abordar questões referentes a redução desses impactos.

Na mais recente publicação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), o Sexto Relatório de Avaliação (AR6), há um chamado de atenção para os perigos decorrentes das mudanças no clima. O AR6 aponta que esses riscos são resultantes das interações entre o clima, exposição e vulnerabilidade dos sistemas humanos e ecológicos afetados. Essa vulnerabilidade é definida como a propensão ou predisposição a ser impactado negativamente pelas mudanças climáticas (IPCC, 2023). O objetivo da análise da vulnerabilidade às mudanças climáticas é fornecer informações que possam orientar políticas de desenvolvimento que reduzam os riscos associados aos efeitos dessas mudanças climáticas (Sarkodie; Ahmed; Owusu, 2022). Como apontado por Mandú *et al.* (2021), as ondas de calor estão se tornando cada vez mais frequentes em um cenário de aquecimento global.

3.2 Dinâmicas de Mudança do Uso da Terra e Florestas no Brasil

Entre os anos de 2019 a 2022 as mudanças do uso da terra de floresta (MUTF) obtiveram emissões brutas de gases do efeito estufa significativas, o Brasil emitiu 9,4 bilhões de toneladas brutas de gases de efeito estufa, retornando ao patamar de emissões dos mandatos de FHC 2 (9,8 bilhões), sendo 2021 o ano com maior aumento, colocando este setor como responsável pela maior fonte de emissão, (SEEG, 2023). Durante o período de 1990 e 2019, as emissões totais acumuladas de GEE no Brasil atingiram cerca de 64,7 gigatoneladas de dióxido de carbono equivalente (GtCO₂e) no Potencial de Aquecimento Global (GWP). Nesse período, as emissões diretamente relacionadas aos GEE aumentaram de 1,86 GtCO₂e em 1990 para 2,17 GtCO₂e em 2019, representando um aumento de 17% (Albuquerque *et al.*, 2020). Cerca de dois terços do total (54%) foram atribuídos ao setor de MUT, o qual está relacionado a mais de 90% das emissões devido ao desmatamento.

Os relatórios do IPCC publicados em 2021 e 2022 mostram o quão vulnerável o Brasil ainda é às alterações climáticas (Artaxo, 2022). Nas últimas décadas, eventos climáticos extremos têm gerado diversos impactos em várias cidades do Brasil. Esses eventos manifestam-se por meio de inundações, deslizamentos, ondas de calor e períodos de seca. Entre eles, os deslizamentos, inundações e estiagens são os mais frequentes no país e têm recebido maior atenção na mídia devido aos seus impactos socioambientais nas áreas urbanas. Esses impactos incluem a proliferação de doenças, aumento no número de mortes, desabrigados e feridos, danos ao meio ambiente, perdas econômicas, entre outros. É importante destacar que esses impactos estão diretamente ligados à maior exposição da população a diferentes riscos, o que resulta em uma situação de vulnerabilidade cada vez mais comum (Loureiro *et al.*, 2014).

O setor de MUTF reproduz as emissões brutas e líquidas de GEE relacionadas aos processos de mudanças da biomassa e matéria orgânica existentes acima e abaixo do solo, além de emissões por queima de resíduos florestais (SEEG, 2020).

É lamentável que os ecossistemas estejam sofrendo um impacto significativo devido às mudanças climáticas, tanto em escala global como regional e local. No caso das florestas tropicais, estão ocorrendo várias mudanças relacionadas ao aumento do CO₂ atmosférico, como o aumento na produção de biomassa, a morte de árvores, mudanças na quantidade e distribuição de espécies e ocorrência de incêndios. Além disso, as mudanças no uso do solo, a grande degradação de muitos biomas brasileiros e o desmatamento estão tornando os ecossistemas e a biota mais vulneráveis, o que tem um impacto direto nos serviços ecossistêmicos e na biodiversidade (Artaxo, 2020).

No momento, a principal fonte de informação para as estimativas das emissões e absorções de gases de efeito estufa utilizadas pelo SEEG no setor de mudança do uso da terra são provenientes do Inventário Nacional. Esse inventário mensura as quantidades de carbono presentes nos elementos orgânicos das plantas nativas, que se dividem em quatro componentes: 1) biomassa viva acima do solo; 2) biomassa subterrânea; 3) camada de folhas e galhos acumulados no solo; e 4) madeira em decomposição, (SEEG, 2021). Os estoques de carbono em outras áreas de uso da terra, como agricultura e pastagem, assim como as taxas de absorção de CO₂ resultantes do crescimento vegetal, também são calculados com base em referências utilizadas no Inventário (SEEG, 2021).

Para calcular as mudanças ocorridas no uso da terra, são utilizados os mapas anuais de cobertura de solo e uso da terra fornecidos pelo MapBiomas, que recentemente têm abrangido o período de 1985 a 2020. Com o cruzamento desses dados, é possível identificar as áreas que tiveram alterações na cobertura e uso da terra, assim como a quantificação do ganho ou perda de estoques de carbono decorrente dessas mudanças (SEEG, 2021). Atualmente, os cálculos de estimativas dependem de matrizes e médias de valores dos estoques de carbono. No entanto, o SEEG está empenhado em realizar esse cálculo de forma mais precisa, levando em consideração a resolução espacial de cada pixel, que é de 30 metros (SEEG, 2021).

3.3 Compromissos e Políticas Ambientais do Brasil

Lamentavelmente a política ambiental do Brasil tem passado por transformações que põem em risco o compromisso de preservação do meio ambiente, estabelecido pela Constituição Federal, que é a principal ferramenta política do país. O Brasil está caminhando na direção oposta ao desenvolvimento sustentável, o que pode ser um retrocesso diante de todos os esforços realizados ao longo dos anos para criar uma governança ambiental sólida. Diversas consequências foram observadas em relação à questão ambiental, como a fragilização do Ministério do Meio Ambiente, a extinção da Secretaria de Mudanças do Clima, da Secretaria de Extrativismo e Desenvolvimento Rural Sustentável e da Secretaria de Articulação Institucional e Cidadania Ambiental (Silva; Silva; Borges, 2019), dentre outras ações que impactam negativamente o futuro do meio ambiente.

No período de 2007, durante a vigência do Protocolo de Quioto, foi estabelecida uma Comissão Mista Permanente sobre Alterações Climáticas (CMPAC) no Parlamento Brasileiro. Esse órgão, composto por membros do Senado e da Câmara dos Deputados, promoveu discussões cruciais sobre o assunto, incluindo a importância de harmonizar as leis federais,

estaduais e municipais pertinentes. Em 2008, a Comissão elaborou um relatório com 51 sugestões, além de apresentar oito projetos de lei relacionados ao tema. Em 2009, influenciada pela realização da 15ª Conferência das Partes (COP-15) em Copenhague, foi promulgada a Lei n. 12.187, que estabeleceu a Política Nacional sobre Mudança Climática (PNMC) (Brasil, 2009).

Na COP-21, reunião internacional que ocorreu em Paris no ano de 2015, almejou-se alcançar um novo acordo global, conhecido como Acordo de Paris, com o intuito de controlar o aumento da temperatura média mundial, mantendo-o abaixo de 2°C até o ano de 2100. Além disso, foram feitos esforços para limitar esse aumento a 1,5°C (Aubertin; Jesus, 2021).

A primeira meta interna de redução de emissões brasileiras foi estabelecida em 2010, quando a Política Nacional sobre Mudanças do Clima foi regulamentada. No entanto, mesmo assim, o país viu um aumento de 23,2% em sua emissão total. Essa tendência preocupante indica que o Brasil está em desvantagem para cumprir a Contribuição Nacionalmente Determinada - NDC, estabelecida no Acordo de Paris em 2015, a partir de 2021 com isso nessa fase, os países membros do G20, incluindo o Brasil, têm uma responsabilidade maior na busca pela estabilização do aquecimento global em 1,5°C neste século (SEEG, 2021).

O Brasil, diferentemente dos demais países em desenvolvimento, adotou uma postura inovadora ao se comprometer em reduzir as emissões de gases de efeito estufa, assumindo a meta de redução de 43% até o ano de 2030, de forma específica, almeja-se manter o aumento da temperatura média em escala mundial substancialmente abaixo de 2° C em relação aos níveis pré-industriais, fazendo os esforços necessários para restringir esse aumento a 1,5 °C; aumentar a capacidade de adaptação perante esses impactos; promover o desenvolvimento de baixa emissão de gases que causam o efeito estufa, evitando ameaças à produção de alimentos; e garantir que os fluxos financeiros estejam em concordância com essa trajetória em direção a um desenvolvimento com redução significativa de emissões (NDC Brasil, 2017).

Logo após o Acordo de Paris a grande maioria dos países participantes apresentaram a sua iNDC, que se torna de fato uma NDC a partir do momento que ratificar o Acordo, necessitando apresentar uma nova NDC a cada 5 anos, sendo a seguinte mais promissora que a anterior (Silva; Sanquetta, 2017). O Brasil reconhecia e acreditava que a adaptação desempenhava um papel fundamental no enfrentamento das mudanças climáticas e, consequentemente, de seus impactos. A elaboração de medidas e políticas de adaptação às mudanças climáticas contribui para o fortalecimento da resiliência das comunidades, dos ecossistemas, das infraestruturas e dos meios de produção, através da redução da vulnerabilidade e da oferta de serviços ecossistêmicos. Em outras palavras, a dimensão social

era considerada uma prioridade. Levando em consideração a necessidade de proteger e garantir a segurança das populações mais vulneráveis frente aos efeitos adversos das alterações climáticas (MMA, 2016).

Prosseguindo com essa abordagem, durante a Conferência da ONU realizada no Rio de Janeiro em 1992, houve um efetivo estabelecimento e suporte para o debate político em relação às mudanças climáticas. Nesse sentido, foi oficialmente adotada e enfatizada a discussão sobre as alterações climáticas na Convenção-Quadro sobre Mudanças do Clima (Sarlet e Fensterseifer, 2023).

De início, o Brasil empenhou-se na criação de novas diretrizes para a elaboração de políticas públicas, por meio do Plano Nacional de Adaptação, conhecido como PNA. O objetivo principal do PNA é estabelecer mecanismos para a gestão do conhecimento, incentivar o desenvolvimento tecnológico voltado para a adaptação, criar processos e ferramentas de apoio às ações e estratégias de adaptação em diferentes órgãos e níveis governamentais (MMA, 2016). É sabido que o Brasil é um país em progresso, que passou por um rápido processo de urbanização. Nesse contexto, questões como moradia, áreas de risco e infraestruturas básicas, especialmente nos setores de transporte, saneamento e saúde, são de suma importância para a implementação de ações voltadas à adaptação. Por conseguinte, o governo brasileiro enfatizou o cuidado especial com as populações mais vulneráveis e menos favorecidas, com o intuito de melhorar tanto suas condições de vida quanto de moradia, fortalecendo sua capacidade de enfrentar os impactos causados por eventos climáticos extremos (MMA, 2016).

3.4 Desafios e Oportunidades Atuais na Redução de Emissões de GEE

Os desafios das mudanças climáticas globais são enfrentados por toda sociedades no século XXI, pois os seus efeitos negativos são percebidos de várias maneiras e em diferentes graus nas diversas atividades econômicas e regiões do mundo (Carlos; Cunha; Pires, 2019).

O Grupo de Trabalho Conjunto sobre Alterações Climáticas destaca que esforços cada vez mais intensos, para reduzir e ajustar às alterações climáticas, indicam uma maior complicação das relações, principalmente nas interligações entre a água, a energia, o aproveitamento dos solos e a diversidade biológica, todavia ainda há escassez de instrumentos para compreender e gerir tais interações (IPCC, 2014).

Cerca de 100 países adotaram, declararam ou estão debatendo compromissos para emissões líquidas zero de GEE, ou emissões líquidas zero de CO₂, abrangendo mais de dois terços das emissões globais de GEE. Um número crescente de municípios está estabelecendo

objetivos climáticos, incluindo metas de emissões líquidas zero de GEE. Muitas empresas e instituições também divulgaram metas de emissões líquidas zero nos últimos anos. Os diversos compromissos de emissão líquida zero variam entre os países em termos de abrangência e detalhamento, e até o momento existem políticas limitadas em vigor para cumpri-los (IPCC, 2023).

Quase todas as alternativas para redução também se deparam com desafios institucionais que precisam ser enfrentados para permitir sua implementação em grande escala. As atuais direções do progresso podem criar obstáculos comportamentais, geográficos, econômicos e sociais para uma redução acelerada em todos os níveis. As decisões tomadas por formuladores de políticas, cidadãos, setor privado e outros interessados influenciam as direções do progresso das sociedades. Fatores estruturais de circunstâncias e capacidades nacionais (como recursos financeiros e naturais, sistemas políticos e fatores culturais e de gênero) afetam a extensão e a profundidade da governança climática (IPCC, 2023).

Embora haja avanços, há diferenças na capacidade de adaptação entre os níveis atuais e necessários para lidar com os impactos e minimizar os riscos climáticos. Embora existam melhorias na implementação da adaptação em todos os setores e regiões, muitas iniciativas de adaptação concentram-se principalmente na redução imediata e de curto prazo dos riscos climáticos, como a proteção física contra enchentes, o que limita a oportunidade de realizar adaptações transformacionais (IPCC, 2023).

No âmbito jurídico, a implementação da Política Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC) é de extrema importância para o Brasil no combate às mudanças climáticas e na promoção de práticas sustentáveis. Estabelecida em 2009, através da Lei Federal número 12.187, a PNMC estabelece seus princípios, objetivos, diretrizes e instrumentos (Civil, 2009). A PNMC surge como uma resposta às pressões ambientais globais decorrentes do aumento das emissões de GEE e das conseqüentes alterações climáticas que representam uma ameaça para os ecossistemas, as economias e as comunidades em todo o mundo segundo o Ministério do Meio Ambiente, (Brasil, 2023).

3.5 Perspectiva Comparativa dos estados brasileiros e o Distrito Federal

Apesar da taxa elevada de desmatamento na Amazônia, a destruição da vegetação original no Cerrado acontece em uma velocidade três vezes maior em relação ao primeiro. As emissões provenientes do Cerrado correspondem a 10% das emissões totais de Mudança no Uso da Terra em 2021, principalmente devido ao aumento do desmatamento na região

conhecida como Matopiba, composta pelos estados Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (SEEG, 2023). Em terceiro lugar em termos de emissões está a Mata Atlântica com 106 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (106 MtCO_{2e}, 9%), seguida pelo Pampa (20 MtCO_{2e}), Pantanal (17,5 MtCO_{2e}) e Caatinga (15,7 MtCO_{2e}) (SEEG, 2023).

No ano de 2022, dos estados brasileiros, os estados de Mato Grosso (17,3% do total) e Pará (15,6%) aparecem como os principais emissores brutos, seguidos de Minas Gerais (7,3%), Rondônia (6,6%) e São Paulo (6,5%). Quando se exclui da conta o uso da terra, São Paulo passa a liderar o ranking, com 12% das emissões, seguido por Minas Gerais (11%) e Mato Grosso (9%) (SEEG, 2022).

Ao analisar as emissões brutas por capital, o Estado que lidera o ranking é Mato Grosso, com 106 toneladas de CO_{2e} emitidas por habitante em 2022 mais de 17 vezes a média mundial, de 6,2 toneladas per capita, seguido por Rondônia, com 95 toneladas. Devido ao desmatamento e à grande produção agropecuária, combinados a uma população relativamente pequena, a emissão média por habitante em Mato Grosso é quase duas vezes maior que no Qatar, um dos países com maiores emissões per capita, e sete vezes maiores do que nos Estados Unidos. Mato Grosso, Rondônia e Pará têm como principais fontes de emissão o desmatamento e a atividade pecuária (SEEG, 2022). Já em São Paulo e Minas Gerais predominam as emissões do setor de energia, com ênfase no setor de transporte, e no caso mineiro, também o setor de gado de leite (SEEG, 2022).

A soma das emissões destes três últimos biomas representa 4,7% das emissões totais do setor. Apesar da Mata Atlântica ser o bioma com a menor percentagem de cobertura de vegetação nativa no Brasil, com menos de um quarto do bioma composto por florestas, ainda ocorre desmatamento ao longo do tempo. No contexto atual, todos os biomas apresentam emissões por desmatamento e, ao mesmo tempo, houve pouca criação de áreas protegidas nos últimos dez anos, o que indica uma tendência de aumento nas emissões líquidas do setor, apesar do crescimento observado nas remoções por florestas secundárias. Em relação às emissões estaduais, os três estados que mais emitiram por mudança de uso da terra em 2021 foram Pará (381 MtCO_{2e}), Mato Grosso (168 MtCO_{2e}) e Amazonas (124 MtCO_{2e}). Esses estados correspondem a 57% das emissões totais do setor sozinhos (SEEG, 2023).

A parte Norte do país é responsável por 60% das emissões nacionais brutas desse segmento, no entanto, é a que apresenta a maior redução devido às remoções em áreas protegidas. A região Centro-Oeste, por sua vez, representa 21% das emissões nacionais brutas desse setor, mas lidera o ranking em termos de emissões líquidas, excedendo a região Norte em 27 MtCO_{2e} e sendo responsável por 49% das emissões líquidas nesse setor. A queima de

resíduos de florestas é responsável por 8% das emissões nacionais brutas nesse setor. A maior parte das emissões provém do desmatamento de vegetação nativa primária em todas as áreas do país (SEEG, 2021).

3.6 Planos de ação

3.6.1 PPCDAm

A colonização em larga escala do Bioma Amazônia se deu nos anos 1960, e no final da década de 1980 o desmatamento no bioma se apresentava como um dos principais problemas de política pública enfrentados por diferentes governos (Brasil, 2023a). Na década de 1990 foram alcançadas estatísticas recordes de desmatamento, ligadas principalmente ao aumento populacional, expansão do rebanho bovino, proximidade às estradas pavimentadas e produção agrícola municipal (Reis; Guzman, 2015), provocando o avanço da fronteira conhecida como arco do desmatamento, adentrando os estados do Acre, Amazonas e Pará, principalmente no curso das rodovias federais que perpassam tais estados, como a BR-163, a BR-230, a BR-319 e a BR-364 (Brasil, 2023a).

Diante deste cenário, em 2004 foi lançado o primeiro Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), organizado nos eixos temáticos, (1) fomento a atividades produtivas sustentáveis, (2) monitoramento e controle ambiental, (3) ordenamento fundiário e territorial, e (4) infraestrutura ambientalmente sustentável, com este último podendo ser entendido como uma extensão do ordenamento territorial (Brasil, 2004, 2023a). Na primeira fase do PPCDAm, entre 2004 e 2008 (Brasil, 2004), foi registrada queda de 53% nas taxas anuais do desmatamento, medidas pelo Projeto de Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (Brasil, 2023a).

Na terceira fase, entre 2012 e 2015 (Brasil, 2013), foi alcançada uma redução de 83% (4,6 mil km²) no ano de 2012 em relação à taxa medida em 2004 (27,8 mil km²) (Brasil, 2023a). Tais resultados foram alcançados muito em razão do fortalecimento do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) e do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), com a adesão de novas tecnologias de geoprocessamento e monitoramento por satélite, além da aplicação dos embargos do uso do solo e recadastramento rural e fundiário estratégicos, liderados pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (Incra), Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA) e Ministério da Fazenda (MF) (Brasil, 2023a).

No entanto, a partir de 2012 o PPCDAm foi perdendo a centralidade na agenda governamental, com as taxas de desmatamento voltando a subir (Brasil, 2023a), principalmente entre os anos de 2019 e 2022, superando os 10 mil km² (Prodes/Inpe, 2024). Um sistema mais refinado de gestão de indicadores e resultados e um planejamento mais claro foram elementos novos que surgiram na quarta fase do PPCDAm, entre 2016 a 2020 (Brasil, 2018c), mas sem total implementação e sem o alcance dos seus objetivos, além das reduções das Unidades de Conservação (UCs) ou do seu nível de proteção (Brasil, 2023a), chegando a ser revogado pelo Decreto nº 10.142, de 28 de novembro de 2019.

Atualmente o PPCDAm encontra-se na sua quinta fase, reestabelecido pelo Decreto nº 11.367, de 1º de janeiro de 2023, com vigência entre os anos de 2023 a 2027 (Brasil, 2023a). Dentre suas muitas metas para até 2027, vale destacar as de ampliação das áreas de florestas públicas federais em até 5 Mha e a destinação de 29,5 Mha de florestas públicas federais, além do aumento em cinco vezes da fiscalização do desmatamento ilegal, e a contratação, via concurso público, de 1.600 analistas ambientais para atuarem no combate ao desmatamento (Brasil, 2023a).

Em sua Coleção 9, o Projeto MapBiomas analisou pela primeira vez a perda de cobertura vegetal nas florestas públicas não destinadas, entendidas como áreas sob domínio público, que ainda não possuem um uso específico definido como UCs, Terras Indígenas (TIs) e Concessões Florestais, aguardando uma destinação formal (MapBiomas, 2024). Descobriu-se que tais florestas ocupavam 13% da Amazônia Legal, apresentando 60 Mha de vegetação nativa, equivalente a 92% de sua área em 2023 (MapBiomas, 2024). Tais áreas são mais vulneráveis ao desmatamento se comparadas às florestas sob algum regime de proteção, configurando um cenário importante e urgente para ação do PPCDAm, destinando-as e transformando-as em territórios protegidos, e, em última análise, contribuindo para a redução das emissões de GEE.

3.6.2 PPCerrado

Na esfera das discussões do Plano Nacional de Mudanças Climáticas e das ações nacionalmente apropriadas apresentadas pelo Brasil na COP 15 em 2009, o Governo Federal lançou a primeira fase do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Bioma Cerrado – PPCerrado (Brasil, 2011), considerado um instrumento para a implementação da PNMC, focando na mitigação das emissões de GEE relacionadas ao uso da terra, mudança de uso da terra e florestas, com vigência de 2010 a 2011, estruturado nos eixos

temáticos, (1) atividades produtivas sustentáveis, (2) monitoramento e controle ambiental, (3) ordenamento fundiário e territorial, e (4) instrumentos normativos e econômicos (Brasil, 2011, 2023b).

Ao longo das fases 1, 2 (2012 a 2015) e 3 (2016 a 2020) do PPCerrado, os principais resultados obtidos em cada eixo temático foram (Brasil, 2023b): produtos do Cerrado inseridos na Política de Garantia de Preços Mínimos para Produtos da Sociobiodiversidade (PGPM-Bio), assistência técnica e extensão rural (Ater) em atividades sustentáveis para mais de 100 mil famílias (eixo 1 – atividades produtivas sustentáveis); implementação do Cadastro Ambiental Rural (CAR), elaboração da Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo e implementação do manejo integrado do fogo em áreas federais como UCs, TIs e território quilombola (eixo 2 – monitoramento e controle ambiental); declaração de posse tradicional de TIs, fortalecimento da gestão de UCs (eixo 3 – ordenamento fundiário e territorial); mais de 4 mil famílias beneficiadas pelo Programa Bolsa Verde, produção do Nível de Referência para Emissões Florestais para o Cerrado (eixo 4 – instrumentos normativos e econômicos).

O PPCerrado atualmente encontra-se em sua quarta fase, com vigência de 2023 a 2027, e dentre todas as suas metas para até 2027, destacam-se: o embargo de 50% da área desmatada ilegalmente nas áreas de competência federal; a contratação de 400 analistas ambientais, por meio de concurso público, para atuação nas regiões com maior risco de ocorrência de desmatamento e incêndios florestais no Cerrado; a destinação de 1,2 Mha de terras públicas federais; e ampliação do financiamento para recuperação de pastagens e de áreas degradadas em municípios críticos de desmatamento (Brasil, 2023b).

3.6.3 Lei do Bioma Mata Atlântica

Em 22 de dezembro de 2006 foi sancionada a Lei nº 11.428, regulamentada pelo Decreto nº 6.660, de 21 de novembro de 2008, a qual dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, sendo um dos biomas mais ricos em biodiversidade e ameaçados do planeta (Brasil, 2017), possuindo somente 13% de sua cobertura florestal original (SOS Mata Atlântica/INPE, 2024), ocorrendo em 17 estados do Brasil (AL, BA, CE, ES, PI, GO, MS, MG, RJ, SP, PB, PE, PR, SC, SE, RN e RS), conforme Lei e Decreto citados (IBGE, 2012). Após a Lei Federal 11.428/2006 entrar em vigor, observou-se reduções substanciais do desmatamento no bioma ao qual se aplica, saindo de uma área desmatada de 6,4 mil km² no ano de 2006 para 765,2 km² em 2023 (Prodes/Inpe, 2024). Tais reduções do

desmatamento já vinham ocorrendo desde meados da década de 1980, conforme dados disponibilizados na Plataforma do Projeto MapBiomas (2024), Coleção 9.

Ainda, na Coleção 9 do Projeto MapBiomas (2024) foi mapeado pela primeira vez o balanço de ganho e perda de vegetação nativa nos municípios brasileiros a partir do ano de 2008, quando foi editado o Decreto nº 6.514, que conferiu efetividade à Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (Código Florestal), estabelecendo multas sobre os casos em que suas regras forem descumpridas. Os resultados mostram que entre 2008 e 2023 a Mata Atlântica é o bioma com mais municípios que apresentaram os maiores ganhos de vegetação nativa, com muitos superando os 30% de ganho (MapBiomas, 2024). Além de ser um resultado indicador da recuperação do bioma, obviamente contribui para as reduções das emissões de GEE.

Atualmente está em fase de elaboração o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Mata Atlântica, disposto no Decreto nº 11.367/2023, sob o controle da Comissão Interministerial Permanente de Prevenção e Controle do Desmatamento que instituirá Subcomissões Executivas com finalidade de elaborar o Plano de Ação com cronogramas, metas, objetivos, prazos, projeção de resultados com datas e indicadores para monitoramento e submetê-lo à Comissão Interministerial, dentre outras finalidades. Assim, espera-se que tal Plano seja finalizado e colocado em execução o mais rápido possível, para a prevenção e recuperação do Bioma Mata Atlântica, contribuindo para a redução das emissões de GEE.

3.6.4 Plano ABC – Agricultura de Baixa Emissão de Carbono

Outro instrumento para a implementação da PNMC foi a criação 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 – Agricultura de Baixa Emissão de Carbono), de abrangência nacional, a fim de estabelecer o plano das ações a serem efetivadas para adoção das tecnologias sustentáveis de produção, escolhidas para atender os compromissos que o Brasil assumiu de reduzir as emissões de GEE no setor agropecuário entre 2010 e 2020 (Brasil, 2012, 2021a, 2023c). O Plano ABC é composto pelos programas de Recuperação de Pastagens Degradadas (RPD), Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e Sistemas Agroflorestais (SAFs), Sistema Plantio Direto (SPD), Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN), Florestas Plantadas (FP), Tratamento de Dejetos Animais (TDA), e Adaptação às Mudanças Climáticas (Brasil, 2012).

Os principais resultados alcançados no fim dos primeiros 10 anos de aplicação do Plano ABC foram a adoção em mais de 54 Mha das tecnologias ABC, como o SPD, FBN, FP e

sistemas de integração, como a Integração Lavoura-Pecuária, Integração Lavoura-Floresta, Integração Pecuária-Floresta e ILPF (Brasil, 2023c). A meta de mitigação por redução das emissões de GEE variava entre 133 a 163 MtCO₂e (Brasil, 2012), a qual foi alcançada e superada, sendo contabilizadas mais de 193 MtCO₂e de mitigação (Brasil, 2023c).

Em relação à ampliação de área sob tecnologias ABC, somente o de FP não atingiu sua meta, ampliando em apenas 1,88 Mha de FP, quando a meta era de 3 Mha, mitigando 8,82 MtCO₂e, ainda que não houvesse meta de mitigação para este programa (Brasil, 2012, 2023c). Em alterações de uso da terra pode ocorrer remoção de CO₂ atmosférico em função da conversão para um tipo de uso com estoque de carbono superior por hectare, como por exemplo, convertendo-se uma pastagem para FP (Zimbres *et al.*, 2024). Ainda, em áreas de vegetação secundária as remoções podem ser entre 11 e 20 vezes superiores em relação às remoções em vegetação primária (Bongers *et al.*, 2015; Poorter *et al.*, 2016).

Referente à meta de mitigação, o programa de RPD não atingiu sua meta, que era de 104 MtCO₂e, mitigando somente 36,01 MtCO₂e (Brasil, 2023c). De acordo com dados de uso e cobertura da terra do Projeto MapBiomass, Coleção 9, 2024, a área de pastagem do Brasil no ano de 2023 era superior a 164 Mha. Por se tratarem de culturas com alto aporte de resíduos, principalmente por meio da renovação do sistema radicular das gramíneas e pouco ou nenhum revolvimento do solo após a implantação, as pastagens contam com alta capacidade de estocar carbono no solo (Braz *et al.*, 2013; Nadal-Romero *et al.*, 2016; Oliveira *et al.*, 2016b). Assim, a recuperação de pastagens degradadas e/ou a melhoria das práticas de manejo, contribuem para o aumento do estoque de carbono no solo (Braz *et al.*, 2013; Carvalho *et al.*, 2014; Conant; Paustian; Elliott, 2001; Maia *et al.*, 2013; Oliveira *et al.*, 2016b; Rosendo; Rosa, 2012; Xu *et al.*, 2016), melhorando sua capacidade produtiva e evitando a abertura de novas áreas para uso agropecuário (Zimmer *et al.*, 2012).

Atualmente o Plano ABC está em sua segunda fase, com vigência entre os anos de 2020 a 2030, denotado agora como Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária 2020-2030 – Plano ABC+, estruturado em quatro programa e cinco estratégias (Brasil, 2021a). Até 2030, a meta total do Plano ABC+ é mitigar 1.042,41 MtCO₂e, por meio da ampliação da adoção das tecnologias de RPD (+ 30 Mha, mitigando 113,7 MtCO₂e), SPD (+ 12,58 Mha, mitigando 12,99 MtCO₂e), ILPF + SAFs (+ 10,1 Mha, mitigando 38,28 MtCO₂e), FP (+ 4 Mha, mitigando 510 MtCO₂e), dentre outras (Brasil, 2021a).

3.6.5 PAN-Brasil

Buscando atender o compromisso assumido pelo Brasil, quando da ratificação da Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD), no ano de 2004 foi lançado o Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – PAN-Brasil (Brasil, 2005a), para atuar nas Áreas Suscetíveis à Desertificação (ASD), tendo como estratégia de implementação o desenvolvimento de programas e ações articulados em torno dos eixos temáticos: redução da pobreza e da desigualdade; ampliação sustentável da capacidade produtiva; conservação, preservação e manejo sustentável dos recursos naturais; e, gestão democrática e fortalecimento institucional. No Brasil, as ASD ocorrem predominantemente na região semiárida oficial brasileira, criada pela Lei nº 7.827, de 27 de setembro de 1989 em substituição ao Polígono das Secas (Brasil, 2007).

A região semiárida oficial brasileira cobre grande parte da Região Nordeste, além de parte do norte de Minas Gerais e Espírito Santo, totalizando uma área de 982.563,3 km², sob a ocorrência predominante do Bioma Caatinga (Brasil, 2005a, 2007). Nas ASD, o PAN-Brasil atua pela seleção de outros programas, projetos ou iniciativas que estejam alinhados com seus critérios e eixos temáticos, para prestá-los auxílios legais, institucionais e técnicos (Brasil, 2005a). Por exemplo, no eixo temático de “redução da pobreza e desigualdade”, o PAN-Brasil direciona apoio às ações de fortalecimento da agricultura familiar e segurança alimentar, considerando o fato desta responder por quantidades consideráveis da produção de alimentos no Brasil, o que a torna um dos caminhos para combater a desigualdade e a pobreza (Brasil, 2005a).

No eixo de “ampliação sustentável da capacidade produtiva”, o PAN-Brasil atua auxiliando a formação dos agentes de assistência técnica, além de apoiar projetos de inovação tecnológica na agricultura familiar (Brasil, 2005a), como por exemplo, o Programa Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural na Agricultura Familiar e na Reforma Agrária – Pronater, que objetiva organizar e executar os serviços de Ater destinados ao público beneficiário previsto no artigo 5º da Lei nº 12.188, de 11 de janeiro de 2010, considerando suas disponibilidades orçamentária e financeira. Por sua vez, no eixo de “conservação, preservação e manejo sustentável dos recursos naturais”, o PAN-Brasil atua dando destaque ao Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) das ASD, e apoia o progresso da gestão ambiental (Brasil, 2005a), como por exemplo, o Programa Nacional de Revitalização de Bacias Hidrográficas (Dicker *et al.*, 2020).

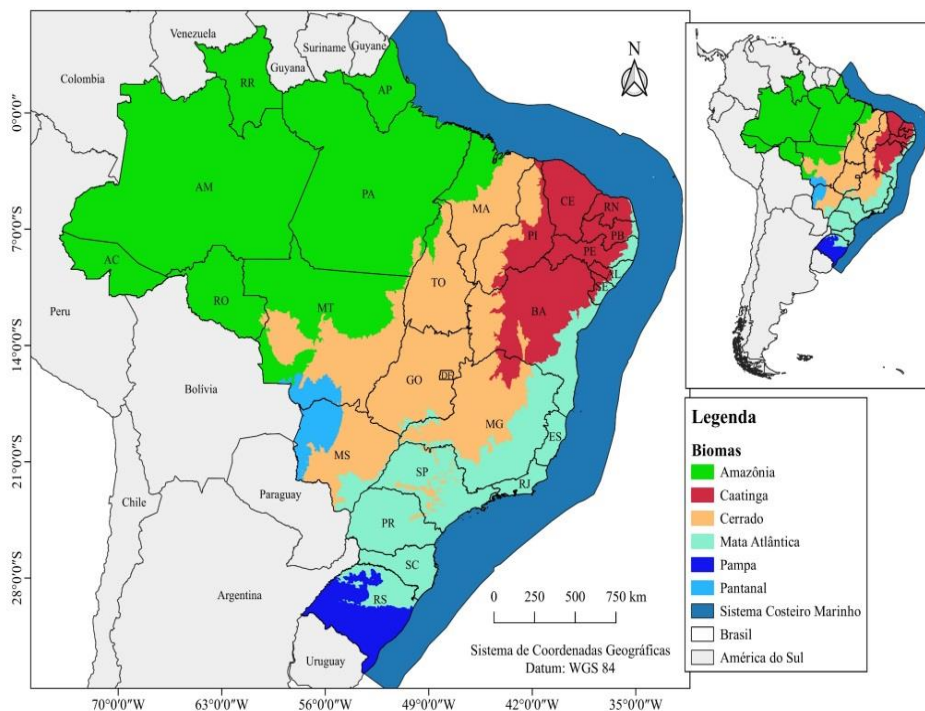
Por fim, no eixo de “gestão democrática e fortalecimento institucional” o PAN-Brasil apoia, por exemplo, o Programa Nacional de Desenvolvimento Sustentável dos Territórios Rurais – Pronat, com objetivos ancorados na promoção do planejamento, na implementação e na autogestão do processo de desenvolvimento sustentável dos territórios rurais (Brasil, 2003, 2005b). Ainda, neste eixo, os projetos de infraestrutura e a elaboração de planos territoriais de desenvolvimento rural sustentável também contam com o apoio do PAN-Brasil (Brasil, 2005a; Dicker *et al.*, 2020).

No ano de 2015 foi instituída a Política Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca por meio da Lei nº 13.153, com criação da Comissão Nacional de Combate à Desertificação (CNDC). Contudo, a CNDC foi interrompida em 2016, sendo retomada em 28 de fevereiro de 2024 por meio do Decreto nº 11.932 (Brasil, 2024). O PAN-Brasil, intitulado agora de Plano de Ação Brasileiro de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAB-Brasil), entrou em processo de atualização em 2023, com conclusão prevista para setembro de 2024, quando em dezembro deste ano será apresentado na Conferência das Partes da UNCCD (COP 16), em Riad, Arábia Saudita (Brasil, 2024).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

O estudo foi realizado para todo o Brasil (Figura 1), considerando seus 26 estados e o Distrito Federal. O Brasil conta com uma área de 8.510.821,98 km², 203.080.756 habitantes, e ocorrência dos biomas Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal, além de uma extensa área costeira banhada pelo Oceano Atlântico (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2019).

Figura 1 - Mapa de localização do Brasil.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O relevo varia de plano a montanhoso, com altitudes inferiores a 100 m e superiores a 1400 m (Alvares *et al.*, 2013b), com temperaturas médias anuais que variam de inferiores a 10 °C a superiores a 26 °C (Alvares *et al.*, 2013a), e precipitações pluviárias médias anuais perfazendo desde valores inferiores a 700 mm até valores superiores a 3.100 mm (Alvares *et al.*, 2013b), além de contar com 12 tipos climáticos diferentes, subdivididos entre os grupos de clima Tropical, Árido e Temperado, de acordo com a classificação climática de Köppen (Alvares *et al.*, 2013b).

4.2 Base de dados

Os dados anuais de estimativas de emissões de GEE em CO₂e do setor de MUT, 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/>), dentro do período de 1990 a 2022. Foram adquiridos os dados para os 26 estados brasileiros e o Distrito Federal, organizados em planilha eletrônica do software Excel do pacote Office da Microsoft®.

4.3 Análise de tendência das emissões

As tendências de emissões de GEE do setor de MUTF para os 26 estados brasileiros e o Distrito Federal foram analisadas no software R, versão 4.4.1 (R Core Team, 2024), aplicando-se os testes estatísticos não-paramétricos Mann-Kendall modificado (Hamed; Rao, 1998), estimador de inclinação de Sen (1968), e o detector de ponto de mudança de Pettitt (1979), ambos a 5% de probabilidade. A seguir descreve-se os testes.

4.4 Teste Mann-Kendall modificado

Para detectar as tendências nas séries temporais de emissão de GEE do setor de MUT para os 26 estados brasileiros e o Distrito Federal, aplicou-se o teste Mann-Kendall modificado (MKM), por Hamed e Rao (1998), considerando a autocorrelação serial. Este teste revela se a tendência na série temporal dos dados é de aumento ou diminuição, além de revelar o nível de significância (Das; Kothari; Pandey, 2024). Quando a estatística Z_{MKM} do teste MKM for positiva, há tendência de aumento, quando negativa, há tendência de diminuição, sendo significativa quando a magnitude de Z_{MKM} for superior a $Z_{\alpha/2}$ (Das; Kothari; Pandey, 2024). Para um α igual 0,05 o valor limite de $Z_{\alpha/2}$ é 1,96 (Swain; Mishra; Pandey, 2021). A estatística Z_{MKM} é calculada pela Equação 1.

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

S é a estatística do teste MKM e $Vx(S)$ é a estatísticas de variância, calculadas pelas Equações 2 e 3:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (2)$$

$$Vx(S) = \text{Var}(S)x \frac{n}{n_s^*} = \frac{n(n-1)(2n-5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} x \frac{n}{n_s^*} \quad (3)$$

Em que n é o número total de pontos de dados; x_i e x_j são classificados de i -ésimos pontos de dados ($i = 1, 2, 3, \dots, n-1$) e j -ésimos pontos de dados ($i = i+1, 2, 3, \dots, n$), respectivamente;

$Var(S)$ é a variância do teste Mann-Kendall original (Mann, 1945; Kendall, 1975), que não considera a autocorrelação; $\frac{n}{n_s^*}$ é o fator de correção da autocorrelação causada por todas as defasagens $\rho_s(i)$ nos pontos de dados de observações de séries temporais; e, t_i é o número de vínculos até os dados i .

A Equação 4 fornece a melhor aproximação para $\frac{n}{n_s^*}$ (Hamed; Rao, 1998).

$$\frac{n}{n_s^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \times \sum_{i=1}^{n-1} (n-i)(n-i-1)(n-i-2) \rho_s(i) \quad (4)$$

4.5 Teste de inclinação de Sen

O teste de inclinação de Sen (SS) foi aplicado para se determinar a magnitude e natureza da tendência contida nas séries de dados de emissões de GEE. Este teste não é sensível a valores discrepantes (*outliers*) e grandes erros de dados, tendo isto como vantagem sobre a regressão linear (Malik; Kumar, 2020). Os sinais da inclinação θ dizem respeito sobre a natureza da tendência, se de aumento ou diminuição, expressos pela Equação 5:

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

onde, X_j e X_i são os valores de ponto de dados no tempo j e i ($i < j$), para $i = 1, 2, 3, \dots, N$.

4.6 Teste de Pettitt

O teste de Pettitt (1979) faz uso de uma versão do teste Mann-Whitney, no qual há a verificação se duas amostras $X_1, X_2, \dots, X_{t-1}$ e X_t , e, $X_{t+1}, X_{t+2}, \dots, X_{n-1}$ e X_n são da mesma população, dado pela Equação 6:

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

onde $X_1, X_2, \dots, X_{n-1}$, e X_n são os pontos de dados na série temporal de comprimento (n), e t é o ponto de mudança com maior probabilidade de ocorrer. O ponto T em que $|U_t|$ alcança valor máximo é considerado um ponto de mudança significativo, dado pela Equação 7.

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

A significância de K_T pode ser calculada de maneira aproximada pela Equação 8:

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

onde p é o nível de significância, K_T é o valor crítico, e n é o número de elementos da série temporal.

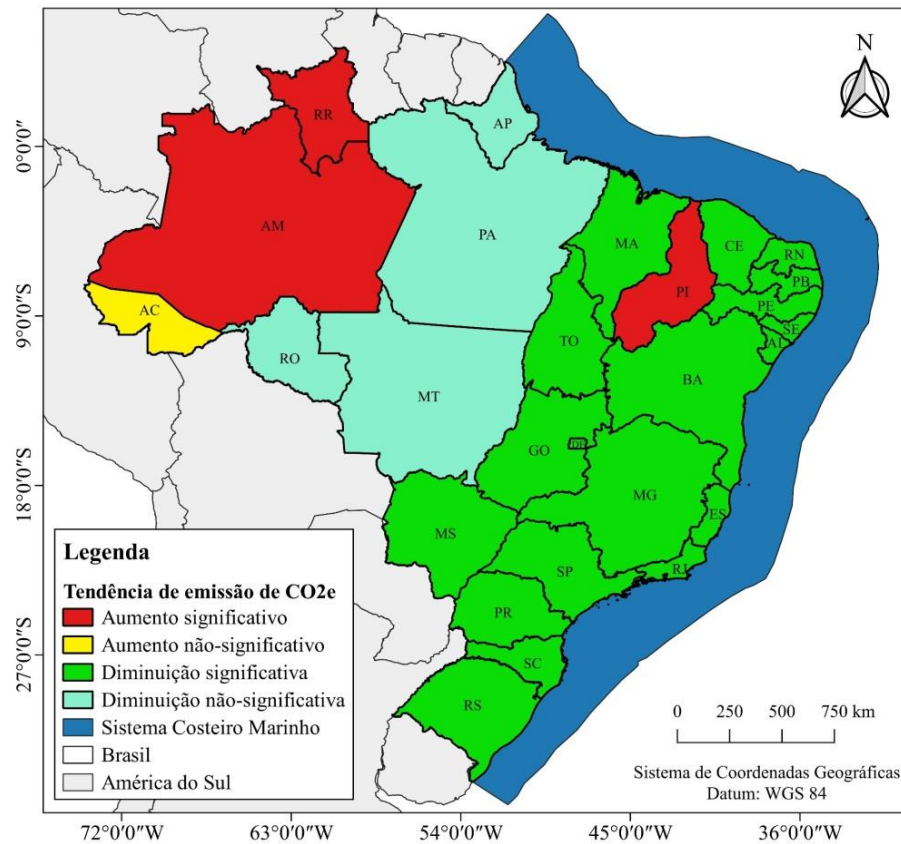
4.7 Variação entre as taxas de emissões de *antes* e *depois* do ponto de mudança

Empregou-se a mediana (Me) como medida de tendência central para se determinar as variações (%) entre as taxas de emissões de GEE anuais *antes* (mediana 1 = Me1) e *depois* (mediana 2 = Me2) de K_T , o qual divide a série em duas partes, $X_1, X_2, \dots, X_{t-1}$ e X_t (*antes* de K_T), e $X_{t+1}, X_{t+2}, \dots, X_{n-1}$ e X_n (*depois* de K_T).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Entre 1990 a 2022, o Distrito Federal e mais 18 dos 26 estados do Brasil apresentaram tendência significativa de diminuição das emissões brutas de GEE do setor de MUT (Figura 2), pelo teste *MKM* a 5% de probabilidade. Os estados do Amazonas, Piauí e Roraima apresentaram tendência significativa de aumento das emissões.

Figura 2 - Tendências das emissões de gases de efeito estufa do setor de Mudança do Uso da Terra e Florestas nos estados do Brasil e o Distrito Federal, entre 1990 e 2022.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O teste MKM também revelou que o Brasil como um todo apresentou tendência de diminuição das emissões de GEE, porém, sem significância estatística (Tabela 1), sendo este resultado influenciado pelos estados que apresentaram tendência significativa ou não de aumento ou diminuição. A maior tendência de diminuição das emissões foi detectada para o estado de Santa Catarina, em termos dos valores da estatística Z_{MKM} (-7,58) e p -valor (muito menor que 0,1%). Por outro lado, o estado do Piauí foi o que apresentou a maior tendência significativa de aumento das emissões, com Z_{MKM} de 3,64, e p -valor menor que 0,1%, respectivamente.

Vale destacar que grande parte da mesorregião Sudoeste do Piauí, a maior do estado (IBGE, 2022), faz parte da atual fronteira agrícola denominada MATOPIBA, sob ocorrência do Bioma Cerrado (Miranda; Magalhães; Carvalho, 2014; IBGE, 2019). De acordo com dados do Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomias), Coleção 9 (2024), esta mesorregião vem passando por grande processo de alteração de uso da terra, principalmente a partir dos anos 2000, quando grandes áreas com ocorrência de formação

savânica passaram a ser ocupadas por lavouras temporárias, principalmente de soja. No ano 2000, a área sob a exploração desta cultura era de 62.028 hectares, em 2022 era de 944.169 hectares (MapBiomas, 2024), uma variação de 1.422,20%. A Tabela 1 mostra os resultados das estatísticas de tendência das emissões e suas respectivas inclinações ou magnitudes determinadas pelo teste de Sen.

Tabela 1- Estatísticas de tendência do teste Mann-Kendall modificado e Sen para as emissões brutas de gases de efeito estufa do setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas nos estados e Distrito Federal do Brasil entre 1990 e 2022.

Estados	Mann-Kendall modificado			Sem
	Z_{MKM}	Tau	$p\text{-valor}$	SS (tCO ₂ e ano ⁻¹)
Acre (AC)	0,01	0,004	0,99	14.892,60
Alagoas (AL)	-3,35	-0,59	<0,001	-74.331,24
Amapá (AP)	-1,50	-0,23	0,13	-42.155,34
Amazonas (AM)	3,17	0,56	0,002	1.619.138,83
Bahia (BA)	-4,32	-0,70	<0,001	-1.215.395,44
Ceará (CE)	-2,04	-0,37	0,04	-335.740,00
Distrito Federal (DF)	-4,44	-0,67	<0,001	-15.253,88
Espírito Santo (ES)	-4,57	-0,56	<0,001	-136.359,45
Goiás (GO)	-3,66	-0,76	<0,001	-1.323.924,20
Maranhão (MA)	-4,94	-0,61	<0,001	-1.867.289,72
Mato Grosso do Sul (MS)	-3,00	-0,73	0,003	-2.279.846,08
Mato Grosso (MT)	-1,71	-0,36	0,09	-10.003.112,35
Minas Gerais (MG)	-4,91	-0,80	<0,001	-1.554.977,06
Pará (PA)	-1,08	-0,20	0,28	-4.447.303,19
Paraíba (PB)	-6,45	-0,56	<0,001	-113.907,86
Paraná (PR)	-6,49	-0,80	<0,001	-830.654,47
Pernambuco (PE)	-5,13	-0,53	<0,001	-156.982,87
Piauí (PI)	3,64	0,45	<0,001	275.010,97
Rio de Janeiro (RJ)	-5,90	-0,72	<0,001	-112.619,42
Rio Grande do Norte (RN)	-5,00	-0,52	<0,001	-129.200,12
Rio Grande do Sul (RS)	-2,07	-0,33	0,04	-365.492,79
Rondônia (RO)	-1,32	-0,26	0,19	-2.053.498,11
Roraima (RR)	2,80	0,35	0,005	373.867,87
Santa Catarina (SC)	-7,58	-0,70	<0,001	-379.797,02
São Paulo (SP)	-4,85	-0,78	<0,001	-566.132,96
Sergipe (SE)	-2,88	-0,62	0,004	-53.506,33
Tocantins (TO)	-2,97	-0,55	0,003	-972.663,93
Brasil	-1,74	-0,36	0,08	-25.852.779,37

¹intervalo de confiança de 0,95 ($\alpha=0,05$); SS : *Sen's Slope* (declive de Sen, traduzido do inglês).

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O teste de Pettitt (1979) revelou que para a maioria dos estados que apresentaram tendência significativa de diminuição das emissões, a mudança no comportamento destas se deram principalmente entre os anos de 2003 e 2007 (Tabela 2). Por outro lado, entre os estados que apresentaram tendência significativa de aumento das emissões, a mudança no

comportamento se deu nos anos de 2003 (Piauí) e 2012 (Amazonas e Roraima), respectivamente.

Tabela 2 - Estatísticas do teste de Pettitt para as emissões brutas de gases de efeito estufa do setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas nos estados e Distrito Federal do Brasil entre 1990 e 2022.

Estados	Teste de Pettitt				tCO ₂ e ano ⁻¹		Var. (%) Me1-Me2
	U_t	¹ p-valor	K_T	ACK_T	Me1	Me2	
AC	126	0,15	-	-	-	-	-
AL	232	<0,001	14	2003	2.522.769,03	1.352.479,29	- 46,39
AP	130	0,13	-	-	-	-	-
AM	198	0,003	23	2012	31.178.218,11	62.434.534,75	100,25
BA	248	<0,001	16	2005	57.862.505,48	37.578.973,60	- 53,98
CE	204	0,002	20	2009	13.631.865,24	7.642.901,50	- 78,36
DF	272	<0,001	16	2005	459.542,24	163.182,15	- 181,61
ES	254	<0,001	14	2003	6.938.052,27	3.857.402,67	- 79,86
GO	272	<0,001	16	2005	38.504.117,53	16.870.223,32	- 128,24
MA	268	<0,001	18	2007	104.202.966,19	72.203.408,33	- 44,32
MS	272	<0,001	16	2005	47.969.370,39	15.443.036,28	- 210,62
MT	266	<0,001	17	2006	469.447.757,71	141.319.801,74	- 232,19
MG	272	<0,001	16	2005	62.774.242,48	39.201.077,87	- 60,13
PA	218	<0,001	18	2007	416.358.742,05	238.134.494,82	- 42,81
PB	202	0,003	13	2002	3.807.010,33	1.767.367,86	- 53,58
PR	270	<0,001	15	2004	31.042.495,78	14.335.527,84	- 53,82
PE	204	0,002	9	1998	8.362.809,64	4.559.072,32	- 45,48
PI	232	<0,001	14	2003	9.402.015,46	15.667.158,70	66,64
RJ	254	<0,001	14	2003	3.733.053,78	2.070.999,06	- 44,52
RN	202	0,003	13	2002	4.356.588,73	1.597.664,98	- 63,33
RS	204	0,002	15	2004	32.835.995,35	23.892.864,54	- 27,24
RO	244	<0,001	17	2006	147.941.746,66	84.067.816,85	- 43,18
RR	152	0,047	23	2012	16.508.501,10	23.997.418,75	45,36
SC	266	<0,001	17	2006	17.190.165,91	10.704.164,17	- 37,73
SP	252	<0,001	15	2004	21.374.845,09	12.782.742,40	- 40,20
SE	252	<0,001	15	2004	1.704.574,32	978.085,68	- 42,62
TO	242	<0,001	12	2001	48.654.719,81	31.427.247,02	- 35,41
Brasil	272	<0,001	16	2005	1.678.553.173,24	927.093.406,25	- 44,77

¹intervalo de confiança de 0,95 (($\alpha=0,05$); ACK_T : ano correspondente ao ponto de mudança K_T ; Me1: mediana de *antes* do ano correspondente ao ponto de mudança K_T ; Me2: mediana de *depois* do ano correspondente ao ponto de mudança K_T Var.: Variação.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

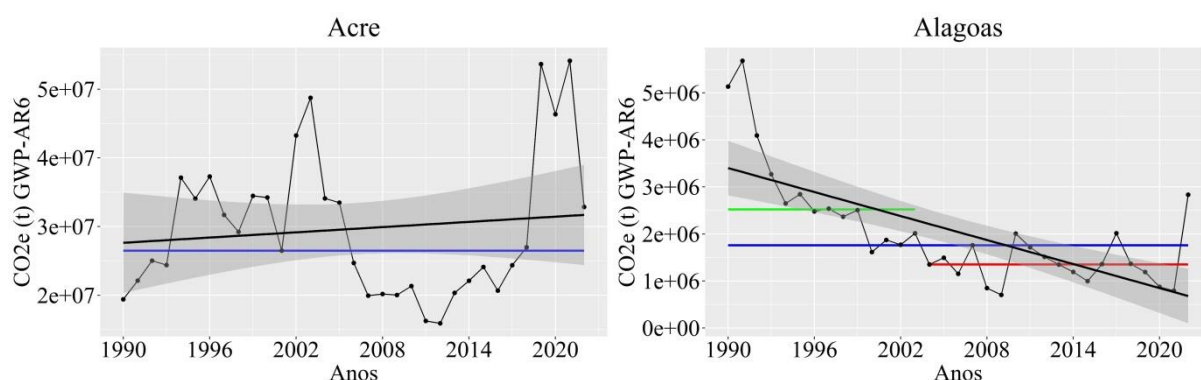
Para o estado do Acre, que apresentou tendência não significativa de aumento das emissões, e para o estado do Amapá, que apresentou tendência não significativa de diminuição das emissões, o teste de Pettitt não detectou um ponto de mudança significativo no comportamento destas ao longo da série temporal. O mesmo não foi o que ocorreu para os estados do Mato Grosso, Pará e Rondônia, quando as emissões nestes não apresentaram tendência de diminuição significativa, porém, o teste de Pettitt detectou ponto de mudança

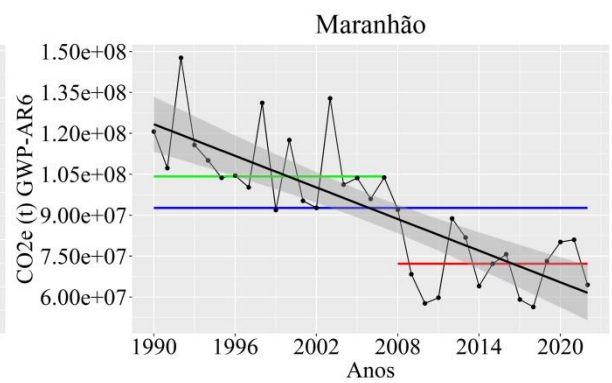
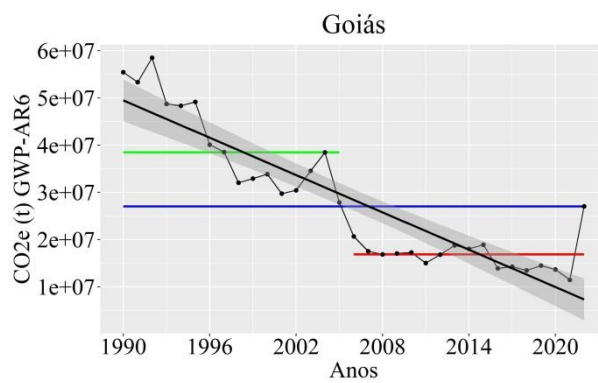
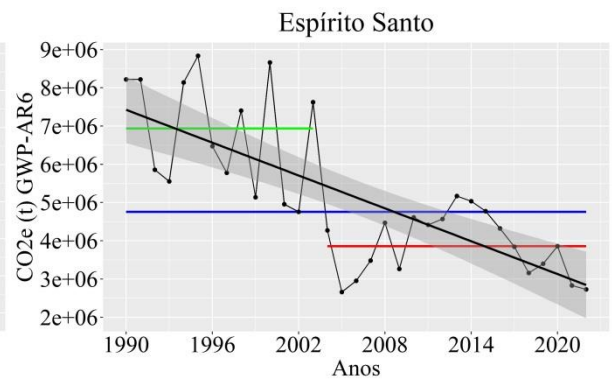
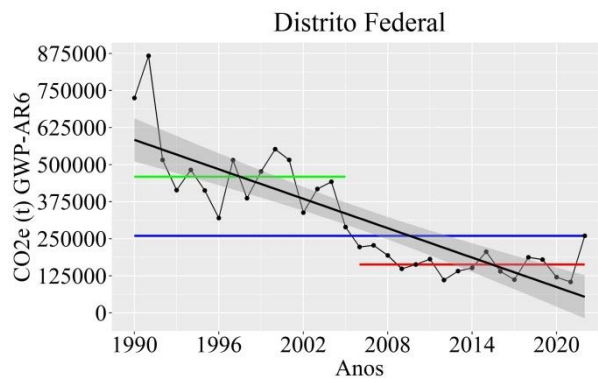
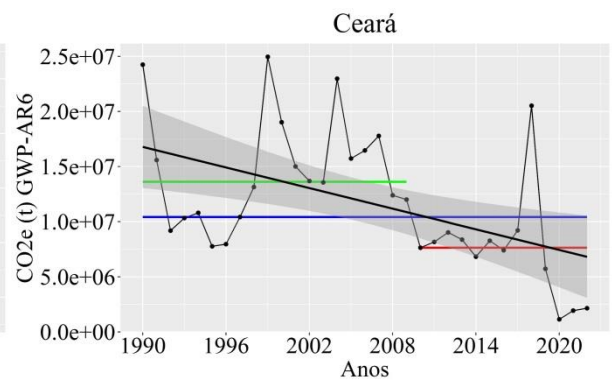
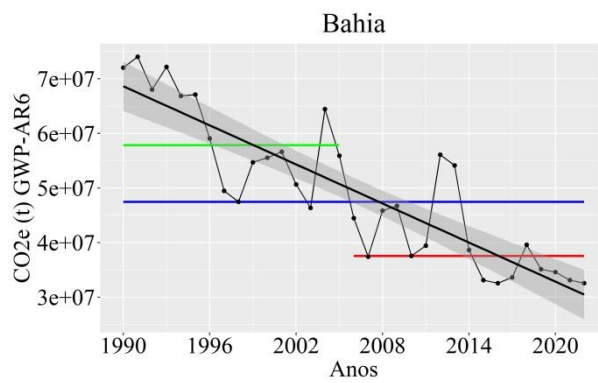
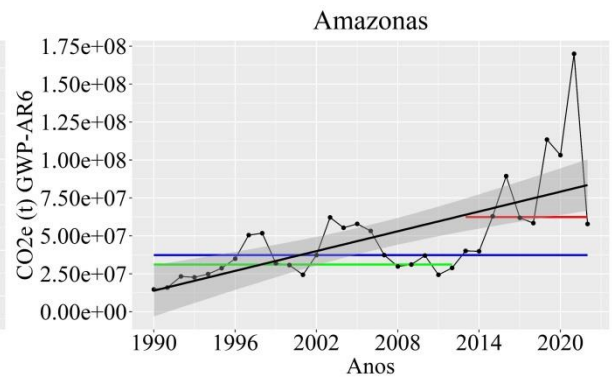
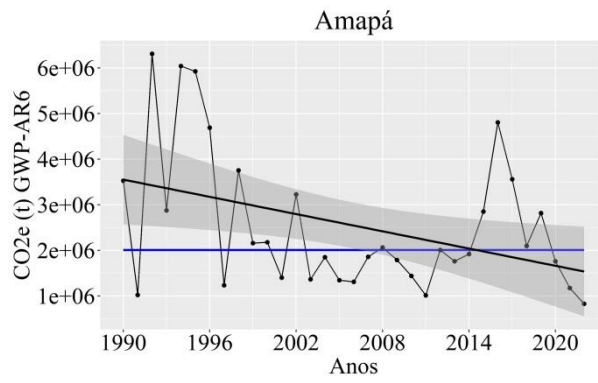
significativo para ambos, correspondente ao ano de 2006 para o Mato Grosso e Rondônia, e 2007 para o Pará (Tabela 2).

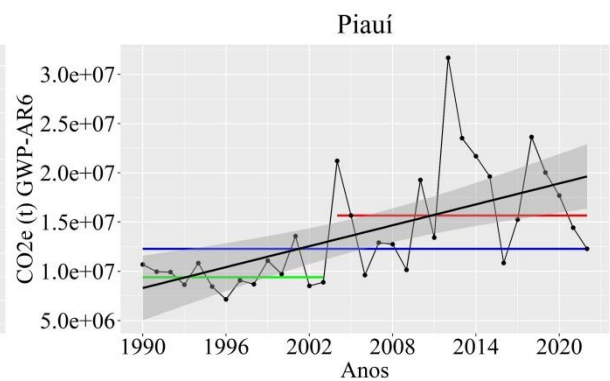
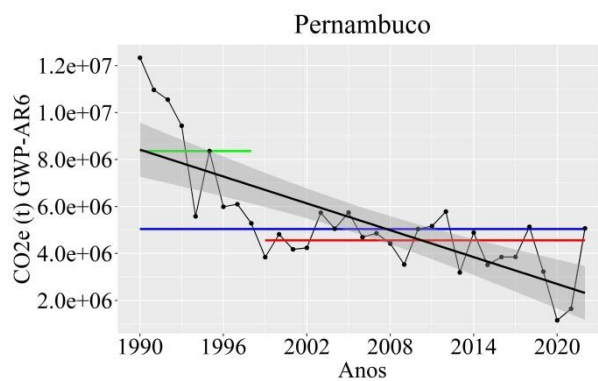
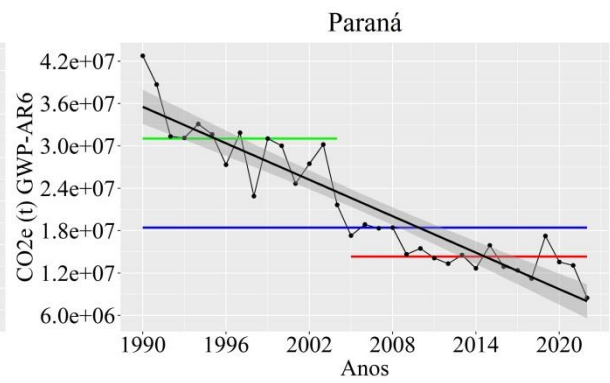
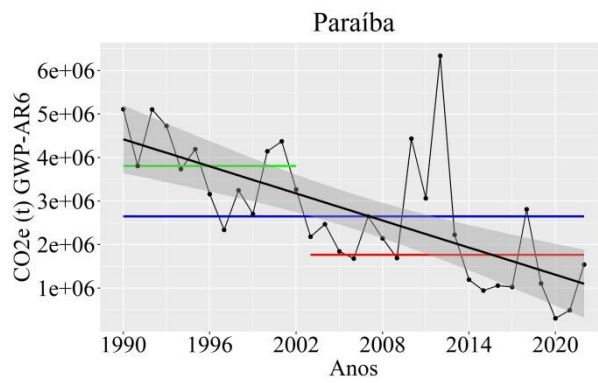
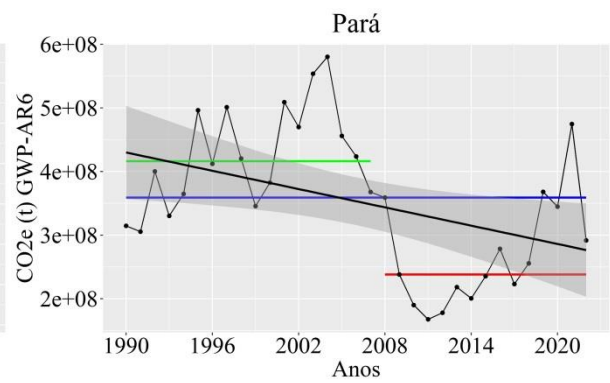
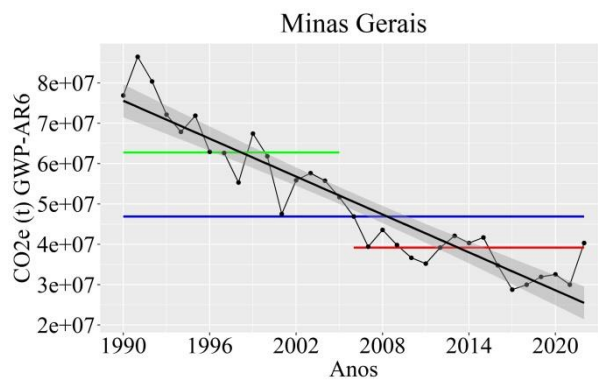
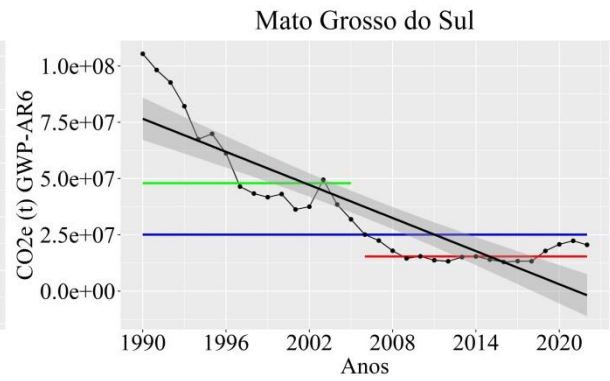
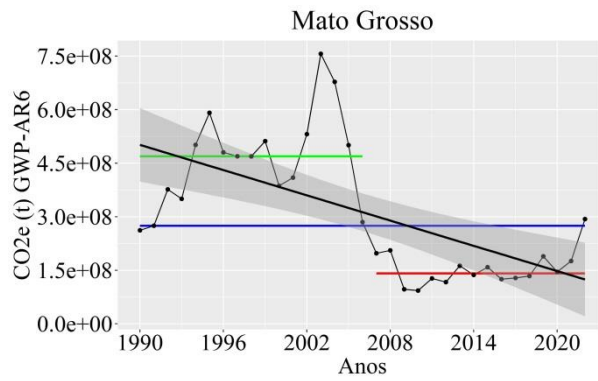
Mesmo o estado do Mato Grosso não apresentando tendência significativa de diminuição das emissões pelo teste de MKM, foi o detentor da maior variação na taxa de emissão anual (- 232,19%), representada pela mediana de *depois* (Me2, 2007 a 2022) em relação à de *antes* (Me1, 1990 a 2006) do ponto de mudança (Tabela 2). O estado do Mato Grosso do Sul (MS) foi o que apresentou a maior variação na taxa de emissão anual entre os estados com tendência significativa de diminuição, quando Me1 caiu de 47.969.370,39 tCO₂e ano⁻¹ (entre 1990 e 2005) para Me2 igual a 15.443.036,28 tCO₂e ano⁻¹ (entre 2006 e 2022), representando uma diminuição de 210,62%. O Brasil como um todo apresentou variação na taxa de emissão de -44,77%, quando de 1990 a 2005 a mediana de emissões era de ~ 1,68 GtCO₂e (Me1), caindo para ~ 927,09 MtCO₂e entre 2006 e 2022 (Me2).

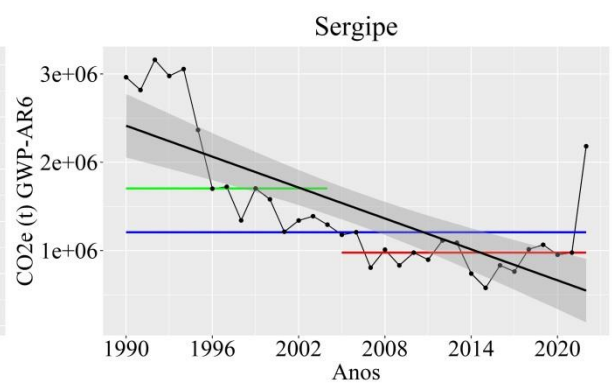
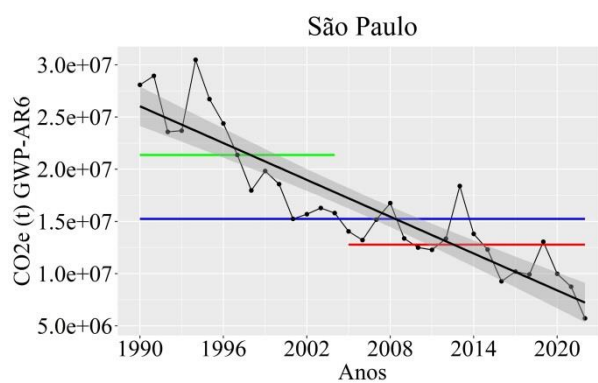
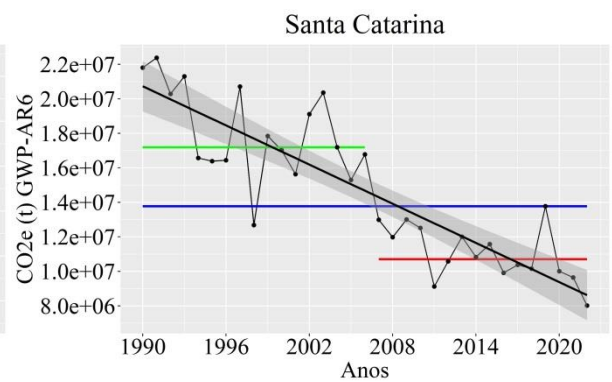
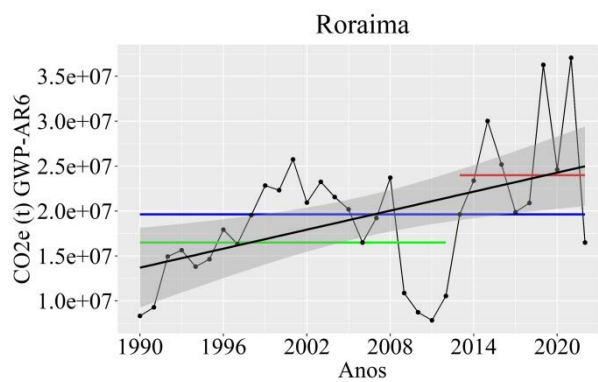
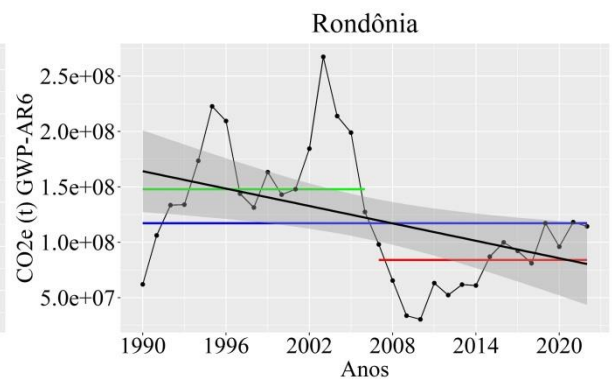
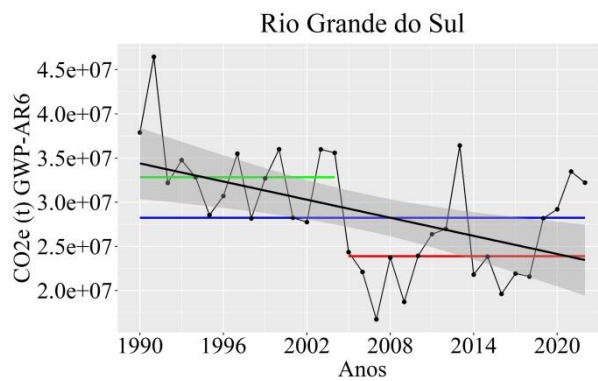
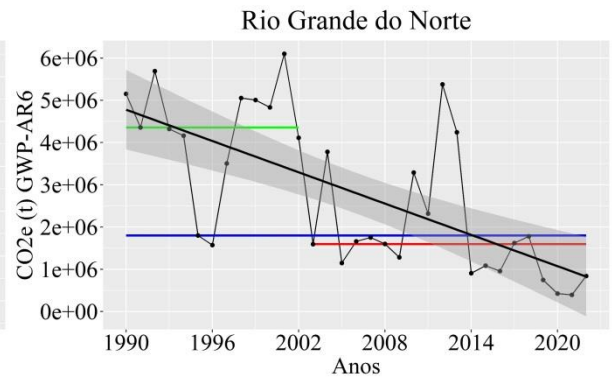
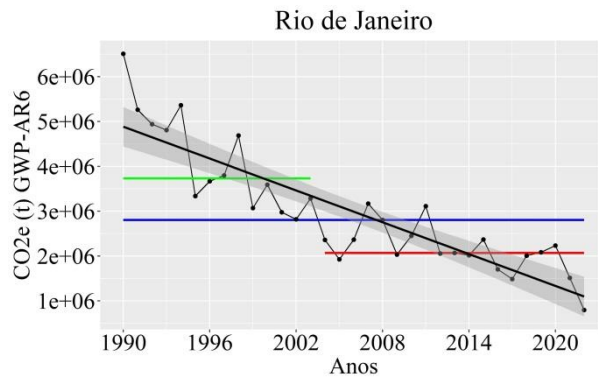
Entre os estados com tendência significativa de aumento das emissões, o do Amazonas foi o que apresentou a maior variação na taxa de emissão anual, com Me1 avançando de 31.178.218,11 tCO₂e ano⁻¹ (entre 1990 e 2012) para Me2 igual a 62.434.534,75 tCO₂e ano⁻¹ (entre 2013 e 2022), um aumento de 100,25%. A Figura 3 mostra os gráficos de tendência das emissões de GEE do setor de MUT dos 26 estados do Brasil e o Distrito Federal, além do gráfico de tendência do país como um todo.

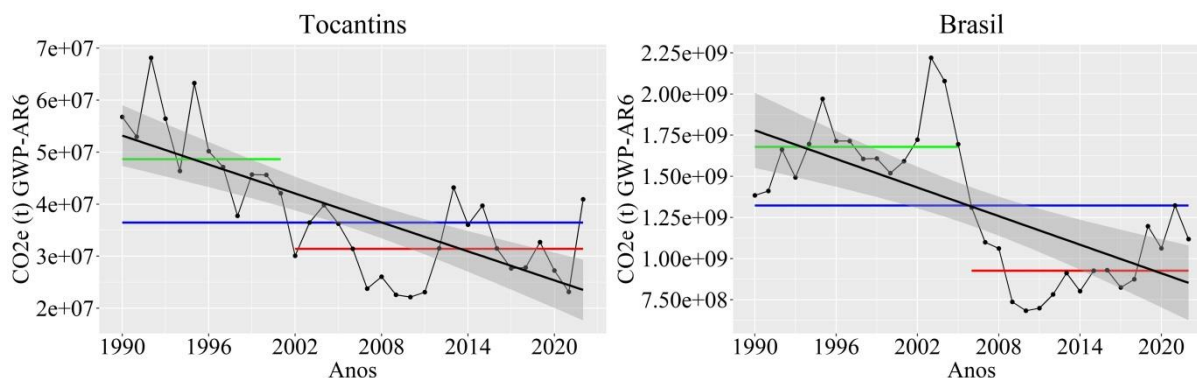
Figura 3 - Tendência das emissões de gases de efeito estufa do setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas entre 1990 e 2022, nos estados do Brasil e Distrito Federal, e Brasil em geral











¹ Linha em azul: mediana geral (Me); linhas em verde: medianas de *antes* do ponto de mudança, linhas em vermelho: medianas de *depois* do ponto de mudança no comportamento das emissões de GEE.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Conforme representado na Figura 3, os estados do Acre e Amapá não apresentaram o ano de ponto de mudança no comportamento das emissões de GEE nos gráficos realizado pelo teste de Pettitt. Os estados que apresentaram aumento pelo mesmo teste foram os estados do Amazonas, Piauí e Roraima, já os demais estados apresentaram diminuição, os quais percebe-se então o ponto de mudança para o teste.

A perda de centralidade, a partir de 2012, na agenda governamental do PPCDAm com as taxas de desmatamento voltando a subir, principalmente entre os anos de 2019 e 2022, pode explicar grande parte do comportamento das emissões brutas de GEE do setor de MUT nos estados que compõem a Amazônia Legal, principalmente para o Acre, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia e Roraima, que apresentaram queda nas emissões entre 2004 a 2012, voltando estas a aumentar a partir deste período (Figura 3), contribuindo para que esses estados apresentassem tendência significativa ou não de aumento, ou de diminuição não significativa das emissões.

Os resultados do PPCerrado somados aos alcançados com o PPCDAm ajudam a explicar as reduções das emissões de GEE do setor de MUT observadas nos estados do Maranhão, Mato Grosso e Tocantins (Figura 3), uma vez que estes contam de forma expressiva em seus territórios com o Bioma Cerrado (IBGE, 2019), além de pertencerem totalmente ou parcialmente (no caso do Maranhão) da Amazônia Legal (IBGE, 2021). Também, para os estados da Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, São Paulo e o Distrito Federal, os resultados do PPCerrado ajudam a explicar e a manter suas tendências significativas de diminuição das emissões de GEE entre 1990 e 2022, que já vinham ocorrendo antes da implementação das ações do Plano no ano de 2010 (Figura 3). Contudo, os dados do sistema Prodes (Prodes/Inpe, 2024) mostram que não houve redução óbvia do desmatamento no Bioma

Cerrado a partir da aplicação do PPCerrado, com a menor taxa acontecendo no ano de 2019 (6,3 mil km²), voltando a subir nos próximos anos, alcançando 10,7 mil km² em 2022.

Após a Lei Federal 11.428/2006 entrar em vigor, observou-se reduções substanciais do desmatamento no Bioma Mata Atlântica. Isto também ajuda a explicar o porquê das tendências de diminuição significativas de emissões de CO₂e do setor de MUT detectadas para a maioria dos estados nos quais o Bioma Mata Atlântica ocorre em maior proporção, como nos estados do Espírito Santo (100%), Rio de Janeiro (100%), Santa Catarina (100%), Paraná (99%), São Paulo (69%), Alagoas (55%), Rio Grande do Sul (52%), Minas Gerais (47%), Sergipe (47%) e Bahia (32%), respectivamente (SOS Mata Atlântica/INPE, 2024).

Para os estados que contam também com a ocorrência do Bioma Cerrado em proporções consideráveis, como Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Bahia e São Paulo (IBGE, 2019), as quedas nas taxas do desmatamento do Bioma Mata Atlântica podem se somar aos resultados obtidos com o PPCerrado, para explicarem as tendências de diminuição das emissões para tais estados, entre 1990 e 2022.

Portanto, a atuação conjunta do PAN-Brasil com programas, projetos ou iniciativas nas ASD do Brasil, contribuem de forma direta e/ou indireta para a prevenção e controle dos processos de alteração de uso da terra, com consequente redução das emissões de GEE. Assim, isto ajuda a explicar as tendências de diminuição significativas para os estados de Alagoas, Ceará, Bahia, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Sergipe, em que estes, com exceção do Ceará, também estão sob a Lei nº 11.428/2006, por contarem em partes do seu território com a ocorrência do Bioma Mata Atlântica (IBGE, 2019).

Os dados categorizados do SEEG mostram que a grande maioria das emissões brutas de CO₂e do setor de MUT são provindas de alterações do uso da terra, seguida de resíduos florestais e carbono orgânico no solo (SEEG, 2024). As emissões derivadas das alterações do uso da terra acontecem por meio da alteração da cobertura para um uso da terra com estoque de carbono inferior por hectare (IPCC, 2003), como por exemplo, a conversão de floresta para pastagem ou agricultura, que na retirada da floresta gera emissões de CO₂ pela perda de estoque de carbono (Zimbres *et al.*, 2024). As emissões por resíduos florestais se dão por meio da queima de biomassa florestal, emitindo, além de CO₂, metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), que possuem maior capacidade de acelerar o efeito estufa em relação ao CO₂ (Forster *et al.*, 2021; Zimbres *et al.*, 2024). Por fim, o solo pode ser uma fonte ou dreno de carbono (C) para a atmosfera, a depender dos fatores climáticos e biogeoquímicos, assim como da taxa de deposição de resíduos vegetais e de sua decomposição (Araújo *et al.*, 2011; Cerri; Feigl; Cerri, 2008), sendo seu equilíbrio dinâmico perturbado pelas alterações de uso da terra, provocando

mudanças em seu estoque de carbono e nitrogênio (Nadal-Romero *et al.*, 2016; Oliveira *et al.*, 2016a; Xu *et al.*, 2016).

Desde a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no ano de 1992 no Rio de Janeiro, o Brasil participa ativamente dos debates internacionais sobre o aquecimento global, assumindo o compromisso voluntário de reduzir suas emissões de GEE entre 36,1% e 38,9% projetadas até 2020, durante a Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, em Copenhague, Dinamarca, no ano de 2009 – COP 15 (Brasil, 2012). Tais compromissos foram ratificados na Política Nacional sobre Mudanças do Clima (PNMC), instituída pela Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, no artigo nº 12. No Decreto nº 7.390, de 9 de dezembro de 2010 (revogado pelo Decreto nº 9.578/2018), que regulamentou os artigos nº 6, 11 e 12 da PNMC, consta que o Plano Nacional sobre Mudança do Clima será integrado pelos Planos de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento nos Biomas e pelos Planos Setoriais de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas.

Conforme o Decreto nº 7.390, para cumprir os compromissos de redução das emissões de GEE ficou determinado que seriam implementadas ações para: redução de 80% do desmatamento na Amazônia Legal em relação à média verificada entre os anos de 1996 e 2005; redução de 40% do desmatamento no Bioma Cerrado em relação à média verificada entre os anos de 1999 e 2008; recuperação de 15 milhões de hectares (Mha) de pastagens degradadas; ampliação do sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) em 4 Mha; expansão da prática de plantio direto na palha em 8 Mha; expansão do plantio de florestas em 3 Mha, dentre outras ações. Estas metas permaneceram no Decreto nº 9.578.

A ampliação das áreas cultivadas está ocorrendo principalmente para o norte, a partir da região central do Brasil, impactando diretamente o frágil bioma da Floresta Amazônica. Essa expansão tem gerado consequências socioambientais, incluindo queimadas na floresta para aumentar as áreas de plantio (que contribuem significativamente para a emissão de gases de efeito estufa), além de alterações no uso da terra e concentração fundiária, entre outros fatores. Até a década de 70, a vegetação do cerrado no Piauí era utilizada apenas para pecuária e agricultura extensiva, consideradas de baixo impacto ambiental. A partir dos anos 90, começou a implementação da agricultura mecanizada, focando especialmente em *commodities* como soja, milho, arroz, feijão e algodão. Essa expansão agrícola se concentrou principalmente nas regiões Sul e Sudoeste do estado, beneficiadas pelo clima favorável e pela topografia de grandes platôs nas chapadas. Com isto a expansão das áreas agrícolas sobre os diversos tipos de vegetação de cerrado pode causar diversos impactos ambientais. Com processo de expansão

agrícola ocorrido nas últimas décadas, no Piauí. Roraima possui características singulares. É um estado pequeno (considerando a Amazônia) e está distante do grande avanço populacional e da pecuária que ocorre ao longo do "arco de desmatamento", que vai de Belém até Rondônia.

5.1 Perspectivas para atual NDC do Brasil

A maioria dos estados do Brasil apresentaram tendência significativa de diminuição das emissões de GEE no setor de MUT entre 1990 e 2022. Contudo, isto não foi detectado para o país como um todo (Tabela 1 e Figura 3), pelo fato desta tendência não ser a mesma para os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Roraima, Piauí, e principalmente Mato Grosso, Pará e Rondônia, três dos principais emissores no setor (SEEG, 2024), e, com exceção do Piauí, todos fazem parte da Amazônia Legal. Como consta na Tabela 2, o teste de Pettitt detectou mudança no comportamento das emissões brutas do Brasil a parti de 2005, com diminuição representada pela variação entres as medianas 1 e 2, de -44,77%. Porém, as emissões voltaram a subir a partir de 2018 (Figura 3), quando em 2021 atingiu o patamar de 1,32 GtCO₂e.

Frente à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC), e de acordo as decisões relevantes da Conferência das Partes servindo como reunião das Partes do Acordo de Paris – CMA, em novembro de 2023 o Brasil se comprometeu por meio de sua Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), atualizada, com uma meta líquida absoluta de emissões de GEE de 1,32 GtCO₂e em 2025, consistente com uma redução de 48,4%, e uma meta líquida absoluta de 1,20 GtCO₂e em 2030, consistente com uma redução de 53,1%, ambas em relação a 2005, de acordo com os dados do Quarto Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópica de GEE (Brasil, 2021b; Brazil, 2023). Ainda, na atual NDC, ficou reiterado o objetivo do Brasil de atingir a neutralidade climática até 2050.

Considerando que o setor de MUT é o principal emissor no Brasil, é neste que devem e/ou deverão se concentrar as reduções de emissão, principalmente no Bioma Amazônia, que em 2022 respondeu por 831 MtCO₂e emitidas (Tsai *et al.*, 2023). Assim, no âmbito do Acordo de Paris, para o Brasil cumprir sua atual NDC, tanto as remoções como as emissões dos demais setores (agropecuária, energia, processos industriais e resíduos) devem manter seus patamares estáveis, e o desmatamento na Amazônia deve ser reduzido a 6 mil km² em 2025, com suas emissões não ultrapassando 423 MtCO₂e, representando uma diminuição de 49% em relação a 2022 (Tsai *et al.*, 2023).

Os dados de desmatamento do sistema Prodes mostram que a taxa de desmatamento na Amazônia Legal já apresentou queda de 26,4%, saindo de 11.6 mil km² em 2022 para 9,1

mil km² em 2023 (Prodes/Inpe, 2024). Assim, até 2025, ainda há que reduzir em mais 3,1 mil km² para alcançar a taxa de 6 mil km² requerida para cumprimento da atual NDC, respeitando as demais condições mencionadas acima. Neste contexto, Tsai *et al.* (2023) enfatizam a importância do PPCDAm, por meio, por exemplo, do reforço dos quadros do Ibama para aplicação das medidas cabíveis sobre irregularidades. Também, os demais Planos e Programa explanados anteriormente podem e devem contribuir a tempo para que o Brasil cumpra suas metas.

Recentemente o Observatório do Clima (OC) tornou pública sua proposta para a Segunda NDC do Brasil (2030-2035), para o cumprimento do artigo 4, parágrafos 2 e 3 do Acordo de Paris, em atenção à Decisão 1/CMA.5 (OC, 2024). Assim, considerando todos os setores da economia do Brasil, ficou proposto que o país limite suas emissões líquidas de GEE a 200 MtCO₂e em 2035, representando uma redução de 92% em relação aos níveis de emissão líquida de 2005, com base nas estimativas do SEEG (OC, 2024).

Neste contexto, considerando o setor de MUT, o Brasil deu um passo importante por meio do Decreto nº 11.367/2023, que determina a elaboração dos Planos de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Mata Atlântica, na Caatinga, no Pampa e no Pantanal, sob coordenação da Casa Civil, envolvendo 18 ministérios. Devidamente implementados, os resultados somam-se aos dos planos e programas existentes para este e demais setores da economia, contribuindo para que o Brasil cumpra com sua presente e futuras NDCs, além de contribuir também com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

De 2011 a 2020, a temperatura média da superfície global foi superior em 1,1 °C em relação à temperatura de 1850 a 1900, de acordo com o Sexto Relatório de Avaliação do IPCC (2023). Este Relatório mostra que em todo o planeta já estão sendo sentidos os efeitos das mudanças climáticas. Ainda, foi confirmada a previsão do Quinto Relatório, de que o Brasil estaria sob impactos consideráveis causados pelas mudanças climáticas, principalmente nos setores da agropecuária, de energia, de saúde e habitação (IPCC, 2023). As enchentes ocorridas no estado do Rio Grande do Sul em maio/abril de 2024 é o exemplo mais notório e imediato a ser citado. Assim, há de se reforçar em muito a adoção de ações que resultem na redução das emissões, além de ações de mitigação e adaptação climática.

6 CONCLUSÃO

O Distrito Federal e mais 18 estados do Brasil apresentaram tendência significativa de diminuição das emissões brutas de GEE no setor de MUT entre 1990 e 2022; os estados do

Amapá, Mato Grosso, Pará e Rondônia não apresentaram tendência significativa de diminuição das emissões; tendência de aumento significativo das emissões foram detectados para os estados do Amazonas, Piauí e Roraima; o Brasil como um todo apresentou tendência não-significativa de diminuição das emissões. Para os estados com tendência significativa de aumento das emissões a maior magnitude da tendência foi detectada para o estado do Amazonas, já para os estados com tendência significativa de diminuição das emissões a maior magnitude da tendência foi detectada para o estado do Mato Grosso do Sul. O estado do Mato Grosso, mesmo apresentando tendência não-significativa de diminuição das emissões foi o que apresentou maior variação entre as taxas de emissão de antes e depois do ponto de mudança. A maioria dos estados apresentaram mudança no comportamento das emissões entre os anos de 2003 e 2007.

No âmbito do Acordo de Paris, para que o Brasil cumpra sua atual NDC com prazos até 2025 e 2030, é preciso que todos os estados estejam com tendência significativa de diminuição das emissões. Assim, sendo o setor de MUT o maior emissor, os esforços devem ser concentrados em ações de prevenção e controle do desmatamento, especialmente na Amazônia Legal, que engloba total ou parcialmente os estados Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia e Roraima, os quais precisam mudar suas tendências de emissões. Isto pode ser possível por meio da operação firme do PPCDam. Ademais, planos como o PPCerrado, Plano ABC+, PAB-Brasil e o acato às Leis ambientais como o Código Florestal e Lei do Bioma Mata Atlântica são fundamentais para o Brasil contribua na limitação do aquecimento global a 1,5 °C, além de se alinhar aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, I., ALENCAR, A., ANGELO, C. AZEVEDO, T., BARCELLOS, F., COLUNA I., COSTA JR., C., CREMER, M., PIATTO, M. POTENZA, R., QUINTANA, G., SHIMBO, J. TSAI, D., ZIMBRES, B. SEEG 8: Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas de clima do Brasil 1970-2019. **Observatório do Clima**, 2020. Disponível em: https://seeg-br.s3.amazonaws.com/Documentos%20Analiticos/SEEG_8/SEEG8_DOC_ANALITICO_SINTESE_1990-2019.pdf>. Acesso em 06. jun. 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**, 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**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013b. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- ARAÚJO, E. A.; KER, J.C.; MENDONÇA, E.S.; SILVA, I.R.; OLIVEIRA, E.K. Impacto da conversão floresta-pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônia. **Acta amazônica**, v. 41, n. 1, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672011000100012>.
- ARTAXO, P. As três emergências que nossa sociedade enfrenta: saúde, biodiversidade e mudanças climáticas. **Estudos avançados**, v. 34, p. 53-66, 2020. DOI:< <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2020.34100.005>.
- ARTAXO, P. Mudanças climáticas: caminhos para o Brasil: a construção de uma sociedade minimamente sustentável requer esforços da sociedade com colaboração entre a ciência e os formuladores de políticas públicas. **Ciência e Cultura**, v. 74, n. 4, p. 01-14, 2022. DOI: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252022000400013&script=sci_arttext.
- AUBERTIN, C. M., DE JESUS, L. M. K. Contribuição do Brasil Na Cop21: O Agronegócio Do Futuro. **Terceira Margem Amazônia**, v. 6, n. 16, p.35-52, 2021. DOI:< <https://doi.org/10.36882/2525-4812.2021v6i16.ed.esp.p35-52>.
- AZEVEDO, T. R.; COSTA JUNIOR, C.; BRANDÃO JUNIOR, A. *et al.* SEEG initiative estimates of Brazilian greenhouse gas emissions from 1970 to 2015. **Scientific Data**, v. 5, p. 1-43, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.45>.
- BONGERS, F.; CHAZDON, R.; POORTER, L.; PEÑA-CLAROS, M. The potential of secondary forests. **Science**, v. 348, n. 6.235, p. 642-643, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.348.6235.642-c>.
- BRASIL. Decreto nº 10.142, de 28 de novembro de 2019. Institui a Comissão Executiva para Controle do Desmatamento Ilegal e Recuperação da Vegetação Nativa (REVOGADO). Brasília: **Diário Oficial da União**, 29 de novembro de 2019.

BRASIL. Decreto nº 11.367, de 1º de janeiro de 2023. Institui a Comissão Interministerial Permanente de Prevenção e Controle do Desmatamento, restabelece o Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), e dispõe sobre os Planos de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento no Cerrado, na Mata Atlântica, na Caatinga, no Pampa e no Pantanal. Brasília: **Diário Oficial da União**, 2 de janeiro de 2023 – Edição extra.

BRASIL. Decreto nº 11.932, de 27 de fevereiro de 2024. Dispõe sobre a Comissão Nacional de Combate à Desertificação. **Diário Oficial da União**, 28 de fevereiro de 2024, p. 4.

BRASIL. Decreto nº 6.514, de 22 de julho de 2008. Dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 23 de julho de 2008, p. 1.

BRASIL. Decreto nº 6.660, de 21 de novembro de 2008. Regulamenta dispositivos da Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006, que dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica. **Diário Oficial da União**, 24 de novembro de 2008, p. 1.

BRASIL. Decreto nº 7.390, de 9 de dezembro de 2010. Regulamenta os artigos 6º, 11 e 12 da Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC, e dá outras providências (REVOGADO). **Diário Oficial da União**, 10 de dezembro de 2010, p. 4.

BRASIL. Decreto nº 9.578, de 22 de novembro de 2018. Regulamenta os artigos 6º, 11º e 12º da Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2018.

BRASIL. GRUPO PERMANENTE DE TRABALHO INTERMINISTERIAL PARA A REDUÇÃO DOS ÍNDICES DE DESMATAMENTO DA AMAZÔNIA LEGAL. **Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm)**. Brasília, DF, 2004.

BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe). **Programa de Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (Prodes/Inpe)**. 2024. Disponível em: <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/>.

BRASIL. Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 26 de dezembro de 2006, p. 1.

BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 29 de dezembro de 2009, p. 109.

BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/112187.htm. Acesso em 30 julho. 2024.

BRASIL. Lei nº 12.188, de 11 de janeiro de 2010. Institui a Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural para a Agricultura Familiar e Reforma Agrária - PNATER e o

Programa Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural na Agricultura Familiar e na Reforma Agrária - PRONATER, altera a Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 12 de janeiro de 2010, p. 1.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 28 de maio de 2012, p. 1.

BRASIL. Lei nº 13.153, de 30 de julho de 2015. Institui a Política Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca e seus instrumentos; prevê a criação da Comissão Nacional de Combate à Desertificação; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 31 de julho de 2015, p. 1.

BRASIL. Lei nº 7.827, de 27 de setembro de 1989. Regulamenta o art. 159, inciso I, alínea c, da Constituição Federal, institui o Fundo Constitucional de Financiamento do Norte - FNO, o Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste - FNE e o Fundo Constitucional de Financiamento do Centro-Oeste – FCO, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 28 de setembro de 1989, p. 17361.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA). **Plano ABC: Dez anos de sucesso e uma nova forma sustentável de produção agropecuária** / Ministério da Agricultura e Pecuária. Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Sustentável, Irrigação e Cooperativismo. – Brasília: MAPA/SDI, 2023c.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **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, 2012. 173 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **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, 2021a. 133p.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). Secretaria de Pesquisa e Formação Científica (SEPEF). **Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. SEPEF. – Brasília: MCTI, 2021b. 620 p.

BRASIL. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. **Plano de Redução de Emissões na Siderurgia**. 2018. Disponível em: <http://bibliotecadigital.economia.gov.br/handle/123456789/1011>. Acesso em: 25 ago. 2024.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA). **Plano territorial de Desenvolvimento rural sustentável**: Guia para o Planejamento. Documento de apoio nº 02. Secretaria de Desenvolvimento Territorial (SDT). – Brasília, DF, 2005b.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA). **Referências para o desenvolvimento territorial sustentável**. MDA; com o apoio técnico e cooperação do Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA) - Brasília: Conselho Nacional de Desenvolvimento Rural Sustentável (Condraf), Núcleo de Estudos Agrários e Desenvolvimento Rural (NEAD), 2003. 36 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil**. Secretaria de Recursos Hídricos, Universidade Federal da Paraíba. – Brasília: MMA, 2007. 134 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Plano de Ação para prevenção e controle do desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm)**: 3ª fase (2012-2015) pelo uso sustentável e conservação da Floresta. Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Grupo Permanente de Trabalho Interministerial. Brasília: MMA, 2013. 172 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado (PPCerrado) e Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm)**: fase 2016-2020. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Mudança do Clima e Florestas, Departamento de Florestas e Combate ao Desmatamento. – Brasília, DF: MMA, 2018c.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Plano de Ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas: cerrado**. – Brasília: MMA, 2011. 200 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAN-Brasil)**. Secretaria de Recursos Hídricos, 2005a. 213 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Roteiro para a elaboração e implementação dos planos municipais de conservação e recuperação da Mata Atlântica**. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade. – Brasília, DF: MMA, 2017. 144 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA). **Combate à desertificação**: Construção do Plano de Combate à Desertificação avança no Nordeste. Assessoria de Comunicação do MMA, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/construcao-do-plano-de-combate-a-desertificacao-avanca-no-nordeste>. Acesso em: 30 ago. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA). **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, 2023a. 119 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA). **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, 2023b. 97 p.

BRAZ, S. P.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; JANTALIA, C. P.; GUIMARÃES, A. P.; SANTOS, C. A. dos; SANTOS, S. C. dos; PINHEIRO, É, F. M.; BODDEY, R. M. Soil Carbon Stocks under Productive and Degraded Pastures in the Brazilian Cerrado. **Soil**

Science Society of America Journal, v. 77, n. 3, p. 914, 2013. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2012.0269>.

BRAZIL. **Nationally Determined Contribution (NDC)**: to the Paris Agreement the UNFCCC. Brasília, 2023. Disponível em: [≤https://unfccc.int/documents/633022≥](https://unfccc.int/documents/633022). Acesso em: 15 abr. 2024.

CARLOS, S.; CUNHA, D.; PIRES, M. Conhecimento sobre mudanças climáticas implica em adaptação? Análise de agricultores do Nordeste brasileiro. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, Brasília, v. 57, n. 3, p. 455-471, 2019. DOI:< <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2019.187600>>. Acesso em: 20 jun. 2024.

CARVALHO, J. L. N.; RAUCCI, G. S.; FRAZÃO, L. A.; CERRI, C. E. P.; BERNOUX, M.; CERRI, C. C. Crop-pasture rotation: A strategy to reduce soil greenhouse gas emissions in the Brazilian Cerrado. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 183, p. 167-175, 2014: DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.11.014>.

CERRI, C. E. P.; FEIGL, B.; CERRI, C. C. Dinâmica da matéria orgânica do solo da Amazônia. In: SANTOS, G. de A. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. 2 ed. Metrópole, 2008. p. 654.

Civil, C. (2009). LEI Nº 12.187, DE 29 DE DEZEMBRO DE 2009. **Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima-PNMC e dá outras providências**. DOU de, v. 30, 2009. Disponível em: https://www.cogen.com.br/content/upload/1/documentos/legislacao/mambiente/2009/Lei_12187_29dez09_Mudanca_Clima.pdf. Acesso em 24 julho 2024.

CONANT, R. T.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E. T. Grassland management and conversion into grassland: effects on soil carbon. **Ecological Applications**, v. 11, n. 2, p. 343-355, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2001\)011\[0343:GMACIG\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2001)011[0343:GMACIG]2.0.CO;2).

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**, v. 196, n. 111, p. 1-26, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-023-12265-8>.

DICKER, G.; GOTTFRIED, I.; ANDRADE, I.; COELHO, I.; WEHRMANN, M. C.; MATOS, M.; BASSAN, V.; BRESCIANI, L. P. **O combate à desertificação e a mitigação dos efeitos da seca: uma abordagem sobre o PAN-Brasil**. Nações Unidas, CEPAL, 2020. Disponível em: <https://biblioguias.cepal.org/bigpushparaasustentabilidade>. Acesso em: 20 ago. 2024.

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

FORSTER, P.; STORELMO, T.; ARMOUR, K. et al. The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks, and Climate Sensitivity. In: **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [MASSON-DELMOTTE, V.; ZHAI, P.; PIRANI, A. et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 923-1054, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009157896.009>.

HAMED, K. H.; RAO, A. R. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. **Journal of Hydrology**, v. 204, p. 182-196, 1998. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(97\)00125-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00125-X).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Amazônia Legal 2021**. 2021. Disponível em: <https://portaldemapas.ibge.gov.br/>. Acesso em: 27 jul. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Biomass continentais**. 2019. Disponível em: <https://portaldemapas.ibge.gov.br/>. Acesso em: 27 jul. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (MPO). **Mapa da Área de Aplicação da Lei nº 11.428 de 2006**. 2ª ed. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Piauí – mesorregiões 2022**. Divisão Político-Administrativa / Organização do Território, 2022. Disponível em: <https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#mapa223843>. Acesso em: 30 ago. 2024.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014. 151 pp.

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

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 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>.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PAINEL ON CLIMATE CHANGES, 2022: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., DOI:<[10.1017/9781009325844](https://doi.org/10.1017/9781009325844)>. Acesso em: 03 jun. 2024.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PAINEL ON CLIMATE CHANGES. **AR5 Climate 80 Change 2014** – Synthesis report. 2014. Disponível em:<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2024.

KENDALL, M. G. **Rank correlation Methods**. 4 ed. Londres: Charles Griffin, 1975.

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**, v. 131, n. 4, p. 1019-1033, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00703-018-0617-2>.

LOUREIRO, R. S. D., SARAIVA, J. M., SARAIVA, I., SENNA, R. C., FREDÓ, A. S. Estudo dos eventos extremos de precipitação ocorridos em 2009 no estado do Pará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, p. 83-94, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-778620130054>.

MAIA, S. M. F.; CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; LAL, RATTAN.; BERNOUX, M.; GALDOS, M. V.; CERRI, C. C. Contrasting approaches for estimating soil carbon changes in Amazon and Cerrado biomes. **Soil and Tillage Research**, v. 133, p. 101-112, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.06.002>.

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**, v. 140, p. 183-207, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-019-03080-8>.

MANDÚ, T. B., DA SILVA NASCIMENTO, A. L., JACONDINO, W. D., GOMES, A. C. D. S. Impacto das Ondas de Calor no Conforto Térmico Humano na Região da Floresta Nacional do Tapajós, Oeste do Pará. **Biodiversidade Brasileira**, v. 11, n. 4, p. 98-108, 2021. DOI: <https://doi.org/10.37002/biodiversidadebrasileira.v11i4.1775>.

MANN, H. B. Non-parametric tests against trend. **Econometrica**, v. 13, p. 245-259, 1945. DOI: <https://doi.org/10.2307/1907187>.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE- MMA. 2016. **Acordo de Paris**. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/clima/convencaodasnacoesunidas/acordodeparis.html>. Acesso em: 24. jun. 2024.

MIRANDA, E. V. de; MAGALHÃES, L. A.; CARVALHO, C. A. de. **Proposta de delimitação territorial do MATOPIBA**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) / Grupo de Inteligência Territorial Estratégica (GITE). Nota Técnica 1, Campinas, SP, 2014.

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>.

NADAL-ROMERO, E.; CAMMERAAT, E.; PÉREZ-CARDIEL, E.; LASANTA, T. How do soil organic carbon stocks change after cropland abandonment in Mediterranean humid mountain areas? **Science of the Total Environment**, v. 566, p. 741-752, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.031>.

NDC BRASIL. **Documento-base para subsidiar os diálogos estruturados sobre a elaboração de uma estratégia de implementação e financiamento da contribuição nacionalmente determinada do Brasil ao Acordo de Paris**. 2017. Disponível em: https://antigo.mma.gov.br/images/arquivo/80051/NDC/documento_base_ndc_2_2017.pdf. Acesso em: 17 jun. 2024.

NELLES, D.; SERRER, C. **Small gases, big effect: this is climate change**. Penguin UK, 2021. Disponível em: <https://www.rgs.org/media/m5mbkr1a/smallgasesbigeffect.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2024.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA (OC). **Proposta do Observatório do Clima para a Segunda Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) do Brasil no âmbito do Acordo de**

Paris (2030-2035). 2024. Disponível em: <https://www.oc.eco.br/publicacoes/>. Acesso em: 31 ago. 2024.

OLIVEIRA, D. M. da S.; PAUSTIAN, K.; DAVIES, C. A.; CHERUBIN, M. R.; FRANCO, A. L. C.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Soil carbon changes in areas undergoing expansion of sugarcane into pasture in south-central Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 228, p. 38-48, 2016a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.05.005>.

OLIVEIRA, S. P.; CÂNDIDO, M. J. D.; WEBER, O. B.; XAVIER, F. A. S.; ESCOBAR, M. E. O.; OLIVEIRA, T. S. Conversion of forest into irrigated pasture I. Changes in the chemical and biological properties of the soil. **Catena**, v. 137, p. 508-516, 2016b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.10.017>.

PANDEY, B. K.; KHARE, D. Identification of trend in long term precipitation and reference evapotranspiration over Narmada river basin (India). **Global and Planetary Change**, [S. l.], v. 161, p. 172-182, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.12.017>.

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

PNMC - Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima e dá outras providências 2009. **Presidência da República Casa Civil Subchefia para Assuntos Jurídicos**. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato20072010/2009/lei/112187.htm>. Acesso em: 23 ago. 2024.

POORTER, L.; BONGERS, F.; AIDE, T. M. *et al.* Biomass resilience of Neotropical secondary forests. **Nature**, v. 530, p. 211-214, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature16512>.

POUR, S. H.; WAHAB, A. K. A.; SHAHID, S. Spatiotemporal changes in precipitation indicators related to bioclimate in Iran. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 141, p. 99-115, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03192-6>.

POUR, S. H.; WAHAB, A. K. A.; SHAHID, S. Spatiotemporal changes in precipitation indicators related to bioclimate in Iran. **Theoretical and Applied Climatology**, [S. l.], v. 141, p. 99-115, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03192-6>.

PROJETO DE MAPEAMENTO ANUAL DO USO E COBERTURA DA TERRA NO BRASIL (MapBiomas). **Coleção 9**. 2024. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/>. Acesso em: 23 ago. 2024.

R Core Team. **_R: A Language and Environment for Statistical Computing_**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2024. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.

REIS, E. J.; GUZMAN, R. M. **An Econometric model of Amazon deforestation**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2015. 38 p.

ROSENDO, J. dos S.; ROSA, R. Comparação do estoque de C estimado em pastagens e vegetação nativa de Cerrado. **Sociedade e Natureza**, v. 24, n. 2, p. 359-375, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1982-45132012000200014>.

SARKODIE, S.A., AHMED, M.Y., OWUSU, P.A. Global adaptation readiness and income mitigate sectoral climate change vulnerabilities. **Humanities and Social Sciences Communications**, v. 9, n. 1, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1057/s41599-022-01130-7>>.

SARLET, I.; FERNSTERSEIFER, T. **Estado de Emergência Climática e Limites Planetários na Nova Época Geológica do Antropoceno**. In: SARLET, I.; WEDY, G.; FERNSTERSEIFER, T. **Curso de Direito Climático – Ed. 2023**. São Paulo (SP): Editora Revista dos Tribunais, 2023. Disponível em: <<https://www.jusbrasil.com.br/doutrina/secao/71introducao-7principios-do-direito-climatico-curso-de-direito-climatico-ed-2023/2072376719>>.

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

SILVA, B. E. N.; SANQUETTA, C. R. Análise da contribuição nacionalmente determinada (NDC) brasileira em comparação aos países do BRICS. **Revista Presença Geográfica**, Porto Velho, v. 4, n. 1, p. 73-89, 2017. DOI: <https://doi.org/10.36026/rpgeo.v4i1.2703>.

SILVA, L. M. B. D., SILVA, J. P. D., BORGES, M. A. D. L. Do global ao contexto nacional: evolução da política ambiental brasileira. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 6, n. 14, p. 593-608, 2019. DOI: <https://doi.org/10.21438/rbgas.061401>.

SILVA, R. W. C.; PAULA, B. L. Causa do aquecimento global: antropogênica versus natura. **Terrae Didática**, Campinas, SP, v. 5, n. 1, p. 42-49, 2015. DOI: <[10.20396/td.v5i1.863750](https://doi.org/10.20396/td.v5i1.863750)>

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. **Infográficos 2023**. 2023. Disponível em: <https://seeg.obass.info/igs/>. Acesso em: 15 abr. 2024.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. **Infográficos 2020**. 2020. Disponível em: <https://seeg-br.s3.amazonaws.com/Documentos%20Analiticos/SEEG_8/SEEG8_DOC_ANALITICO_SINTESE_1990-2019.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2024.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. **Infográficos 2021**. 2021. Disponível em: <https://seegbr.s3.amazonaws.com/Documentos%20Analiticos/SEEG_9/OC_03_relatorio_2021_FINAL.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2024.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. **Infográficos 2022**. 2022. Disponível em: <https://seeg-br.s3.amazonaws.com/Documentos%20Analiticos/Estudo_Metano/ObsClima_SEEG2022_FINAL.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2024.

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

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOSSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (SEEG), Observatório do Clima, 2024. Disponível em: <https://seeg.eco.br/>. Acesso em: 25 ago. 2024.

SOS MATA ATLÂNTICA; BRAZIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe). **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica**: período 2022-2023. São Paulo, SP, 2024. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/iniciativas/atlas-da-mata-atlantica>. Acesso em: 15 ago. 2024.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOSSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (SEEG), Observatório do Clima, 2022. Disponível em: <https://seeg.eco.br/>. Acesso em: 25 ago. 2024.

SWAIN, S.; MISHRA, S. K.; PANDEY, A. A detailed assessment of meteorological drought characteristics using simplified rainfall index over Narmada River Basin. *India. Environmental Earth Sciences*, v. 80, n. 6, p. 1-15, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09523-8>.

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

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>.

TSAI, D.; POTENZA, R.; QUINTANA, G. *et al.* **Análise das emissões de gases de efeito estudo 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: 15 abr. 2024.

VITAL, M. H. F. Aquecimento global: acordos internacionais, emissões de CO₂ e o surgimento dos mercados de carbono no mundo. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 48, p. 167-244, 2018. Disponível em: <<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/16043>>. Acesso em: 05 jun. 2024.

XU, S.; SILVEIRA, M. L.; INGLET, K. S.; SOLLENBERGER, L. E.; GERBER, S. Effect of land-use conversion on ecosystem C stock and distribution in subtropical grazing lands. *Plant and Soil*, v. 399, p. 233-245, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2690-3>.

ZIMBRES, B.; SOUZA, E.; SHIMBO, J. *et al.* **Nota metodológica, SEEG 11**: Setor de Mudanças do Uso da Terra e Florestas. Versão 2, 2024. Disponível em: <https://seeg.eco.br/metodologia/>. Acesso em: 24 abr. 2024.

ZIMMER, A. H.; MACEDO, M. C. M.; KICHEL, A. N.; ALMEIDA, R. G. **Degradação, recuperação e renovação de pastagens**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2012.