



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Instituto de Ciência e Tecnologia
Câmpus de Sorocaba

PEDRO HENRIQUE COLLADO

ANÁLISE DOS EFEITOS POLUENTES DOS GASES METANO E DIÓXIDO DE CARBONO ADVINDOS DA AGRICULTURA NO BRASIL E PRINCIPAIS PAÍSES EMISSORES

Sorocaba, Brasil

2023

PEDRO HENRIQUE COLLADO

ANÁLISE DOS EFEITOS POLUENTES DOS GASES METANO E DIÓXIDO DE CARBONO ADVINDOS DA AGRICULTURA NO BRASIL E PRINCIPAIS PAÍSES EMISSORES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, Universidade Estadual Paulista (UNESP), como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Leandro Cardoso de Moraes

Sorocaba, Brasil

2023

C697a Collado, Pedro Henrique

Análise dos efeitos poluentes dos gases metano e dióxido de carbono advindos da agricultura no Brasil e principais países emissores / Pedro Henrique Collado. -- Sorocaba, 2023

55 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba

Orientador: Leandro Cardoso de Moraes

1. Engenharia Ambiental. 2. Impacto Ambiental. 3. Proteção Ambiental. 4. Agricultura Sustentável. 5. Gases estufa. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Pedro Henrique Collado

**ANÁLISE DOS EFEITOS POLUENTES DOS GASES
METANO E DIÓXIDO DE CARBONO ADVINDOS DA
AGRICULTURA NO BRASIL E PRINCIPAIS PAÍSES
EMISSORES**

Sorocaba, 05 de Abril de 2023

Prof. Dr. Leandro Cardoso de Moraes
Orientador

Trabalho aprovado por meio de parecer, homologado pelo Conselho de Curso
em reunião de 05 de abril de 2023.

Sorocaba/SP
2023

Resumo

Neste trabalho, é analisada a participação da agricultura no aumento do efeito estufa e as alterações climáticas e seu impacto sobre a agricultura, levando em consideração os cenários brasileiros e dos principais países emissores.

O clima é afetado por vários impactos diretamente ligados aos gases emitidos pela agricultura, causando danos de várias formas, incluindo o efeito estufa, responsável pela liberação de gases como Dióxido de Carbono (CO_2), Metano (CH_4), Óxido nitroso (N_2O), Hidrofluorcarbonos, Perfluorcarbonos (CF_4 , C_2F_6) e Hexafluoruro de enxofre (SF_6) (FAO, 2014). Este estudo se concentrará apenas em dois dos gases mencionados, Dióxido de carbono (CO_2) e Metano (CH_4).

Palavras chave: Efeito estufa; Mudanças climáticas; Agricultura brasileira; Dióxido de Carbono; Gás Metano.

Abstract

In this study, the participation of agriculture in the increase of the greenhouse effect and climate change and its impact on agriculture is analyzed, taking into account the Brazilian scenarios and the main emitting countries.

The climate is affected by several effects directly linked to the gases emitted by agriculture, causing damage in various ways, including the greenhouse effect, responsible for the release of gases such as Carbon Dioxide (CO₂), Methane (CH₄), Nitrous oxide (N₂O), Hydrofluorocarbons, Perfluorocarbons (CF₄, C₂F₆) and Sulfur Hexafluoride (SF₆) (FAO, 2014). This study will only focus on two of the gases mentioned, Carbon Dioxide (CO₂) and Methane (CH₄).

Key words: Greenhouse effect; Climate changes; Brazilian agriculture; Carbon dioxide; Methane gas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - O gráfico analisa a simulação de causas humanas e naturais do aquecimento global do ano de 1850 a 2020 (IPCC, 2021).....	16
Figura 2 - Demonstrativo das fontes de energia de carvão, eletricidade, óleo combustível, óleo diesel, gás liquefeito de petróleo, gasolina e gás natural com seus respectivos usos para obtenção de energia no mundo desde o ano de 1970 até 2019 (FLAMMINI, 2022).....	20
Figura 3 - Demonstrativo dos dados de alcance das metas do plano ABC na agricultura brasileira do ano de 2010 à 2018 (MENEZES, 2022).	24
Figura 4 - Tendência de emissões de GEE em alguns países no ano de 1990 a 2020, incluindo as emissões do setor de uso da terra, mudança no uso da terra e silvicultura (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2022).....	31
Figura 5 - O gráfico mostra a quantidade de emissão de GEE mensuradas em equivalente de carbono (CO ₂ eq) nos diferentes setores no ano de 2019 na China (RITCHIE, 2022).....	32
Figura 6 - O gráfico mostra a quantidade de emissão do gás Metano (CH ₄) em equivalente de carbono (CO ₂ eq) nos diferentes setores no ano de 2019 na China (RITCHIE, 2022).....	33
Figura 7 - O gráfico mostra a quantidade de emissão de GEE mensuradas em equivalente de carbono (CO ₂ eq) nos diferentes setores no ano de 2019 nos Estados Unidos (RITCHIE, 2022).	34
Figura 8 - O gráfico mostra a quantidade de emissão do gás Metano (CH ₄) em equivalente de carbono (CO ₂ eq) nos diferentes setores no ano de 2019 nos Estados Unidos (RITCHIE, 2022).	35
Figura 9 - O gráfico mostra a quantidade de emissão de GEE mensuradas em equivalente de carbono (CO ₂ eq) nos diferentes setores no ano de 2019 no Brasil (RITCHIE, 2022).....	36
Figura 10 - O gráfico mostra a quantidade de emissão do gás Metano (CH ₄) em equivalente de carbono (CO ₂ eq) nos diferentes setores no ano de 2019 no Brasil (RITCHIE, 2022).....	40

Figura 11 – Balanço das fontes de emissão e remoção para o cálculo da quantidade de carbono no solo em 2019 (SEEG, 2019).....	39
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	O efeito estufa e seus gases	11
1.2	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas	12
2	OBJETIVOS	13
2.1	Objetivo Geral	13
2.2	Objetivos Específicos	13
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1	Histórico e cenário climático mundial	14
3.2	Setor agrícola: Aspecto mundial	17
3.2.1	Emissões de dióxido de carbono	18
3.2.2	Emissões de metano	21
3.3	Políticas brasileiras para o controle da emissão de GEE: Plano ABC	22
3.4	Estratégias para redução das emissões de GEE na agricultura	25
3.4.1	Sistemas de Integração	26
3.4.2	Sistemas de plantio direto	27
3.4.3	Agricultura sintrópica	27
4	METODOLOGIA	29
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1	China	31
5.2	Estados Unidos	33
5.3	Brasil	35
6	CONCLUSÕES	40
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

1 INTRODUÇÃO

O aquecimento global é uma questão presente em nosso dia a dia há algum tempo, e suas consequências afetam diversos aspectos, incluindo a vida, o meio ambiente e a economia. Dentro deste cenário, vários estudos começaram a ser desenvolvidos para entender a causa do aquecimento global e as possíveis formas de se amenizar ou até mesmo resolver esse problema (SANTOS, 2022).

Esse aumento de temperatura vem sendo causado pela influência de processos naturais. Contudo, fatores antropogênicos, ou seja, relacionados à ação humana, foram se tornando cada vez mais relevantes no aumento da temperatura na terra e nos últimos dez anos já vem sendo considerado o mais grave causador (MIKHAYLOV, 2020).

As mudanças climáticas globais são causadas por duas principais razões: Alterações no campo magnético da Terra e GEE presentes na atmosfera da Terra (MIKHAYLOV, 2020). O segundo é um processo natural que acontece quando a atmosfera retém a radiação solar, aumentando a temperatura da Terra e mantendo as condições favoráveis para a vida (MOTA, 2018). Os principais gases responsáveis pelo efeito estufa são o dióxido de carbono (CO_2), o óxido nitroso (N_2O) e o metano (CH_4). A emissão de CO_2 está ligada principalmente ao uso de combustíveis fósseis e às transformações de uso da terra. O CH_4 é gerado pela queima de combustíveis fósseis e por atividades agrícolas. Já o N_2O resulta em sua maioria da agricultura. (IPCC, 2007).

No meio ambiente o aquecimento global é responsável pelo aumento do aparecimento de diversos fenômenos catastróficos como a intensificação de furacões, tufões, inundações, aumento do volume dos oceanos, tempestades, desertificação, derretimento das camadas de gelo dos polos, chuvas em algumas regiões e seca em outras (SANTOS, 2022). O impacto das mudanças climáticas na agricultura é uma preocupação relevante, já que o setor agrícola depende da previsibilidade climática e dos processos meteorológicos para o planejamento de plantio e colheita. As

mudanças climáticas podem resultar em alterações na temperatura, regime de chuvas, intensidade de pragas e doenças, impactando a qualidade e disponibilidade de plantio em certas regiões. O aumento da temperatura também afeta diretamente o desenvolvimento das plantações. A combinação de calor, períodos prolongados de seca, baixa umidade e forte incidência solar aumenta a necessidade de irrigação (ASSIS, 2021).

De acordo com a ONU (2021), A elevação da temperatura tem como resultado a transformação das produções agrícolas no Brasil. É esperado que as culturas de algodão, arroz, café, feijão, girassol e milho experimentem uma drástica redução em suas áreas de cultivo, o que obrigará a mudança dessas culturas para regiões que não são apropriadas para o seu cultivo atualmente.

Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima (IPCC), desde o seu quarto relatório em 2007, é relatado que a agricultura contribui significativamente para o aquecimento global, pois cerca de 19% a 23% das emissões de GEE estufa advêm da produção agrícola e mudanças no uso da terra. Além disso, as tendências indicam que esses números tendem a aumentar drasticamente, uma vez que, com o crescimento da população mundial, estima-se que haverá uma necessidade de aumento de 70% na produção de alimentos para alimentar uma população mundial de cerca de 10 bilhões de pessoas até 2050 (GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY, 2019).

Essas estimativas trazem a necessidade de uma reflexão com base na necessidade de uma superprodução agrícola, para suprir as necessidades da população mundial, mas que precisa estar associada a uma produção sustentável, com mínima produção de GEE.

Devido a gravidade e importância das circunstâncias atuais de aquecimento, hoje a luta contra as emissões desses gases é internacional. Cúpulas mundiais dedicadas a este problema estão sendo mantidas e documentos estão sendo criados com o objetivo de organizar uma solução global para o problema. Há portanto um grande avanço nas pesquisas referente aos assuntos, trazendo enorme engajamento em descobrir a origem desses gases dentro do contexto agrícola e fazendo o monitoramento das emissões dos países comprometidos com essa causa,

descobrimos e comparando as técnicas usadas para que seja possível atingir as metas de redução estabelecidas.

1.1 O efeito estufa e seus gases

O clima da Terra é determinado pela energia que ela recebe do Sol e pelo calor que é devolvido ao espaço. O processo é controlado pela atmosfera, que contém gases que agem como uma barreira para a dissipação de calor da Terra, absorvendo a radiação infravermelha emitida pelo Sol e pela Terra, e reemitindo-a em todas as direções. Como resultado, parte dessa energia é mantida pela superfície da Terra, ao invés de ser refletida para o espaço (BERTOLAMI, 2020).

Estes gases são referidos como gases de efeito de estufa, tendo como principais componentes vapor d'água (H_2O), óxido nitroso (N_2O), dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), ozono (O_3) e outros. Estes gases são fundamentais para assegurar que a temperatura da Terra se mantenha em um nível que possibilite a existência de água líquida na superfície do planeta, o que é fundamental para a vida. Embora ocorra de maneira natural na Terra, o efeito de estufa não é uma característica constante e mudanças na composição da atmosfera levam a mudanças no próprio efeito de estufa (JUNGES, 2018; BERTOLAMI, 2020).

O vapor de água é aproximadamente responsável por 50% do efeito estufa na Terra, enquanto as nuvens contribuem com 25%, o CO_2 com 20% e os demais gases com 5%. Embora o vapor de água seja o maior contribuinte para o efeito estufa, ele é condensável e sua quantidade na atmosfera depende da temperatura, ao invés de ser a causa dela. Por outro lado, o dióxido de carbono é um gás não condensável que pode permanecer por centenas de anos na atmosfera, o que o torna fortemente relacionado às eras de gelo. Nestas eras, existe uma correlação entre os níveis de CO_2 e a temperatura. Quando há altos níveis de CO_2 , a temperatura também é alta (período interglacial), enquanto baixos níveis de CO_2 são acompanhados por temperaturas baixas (período glacial, era do gelo) (JUNGLES, 2018).

O gás metano por sua vez é o segundo gás que mais contribui para o aquecimento global de origem antrópica. De acordo com VIEIRA (2009), o metano

possui um potencial de absorção 24 vezes mais efetivo que o CO₂, embora o tempo de vida do CO₂ na atmosfera seja em torno de 50 a 200 anos, sendo bem maior que o tempo de vida do metano, que é cerca de 12 anos. É importante lembrar que a dissociação do metano também produz CO₂.

Hoje, existe um consenso amplo de que o aquecimento global está relacionado a um agravamento do efeito estufa, causado pela atividade humana. Desde o início da era industrial, as ações humanas têm alterado significativamente a composição da atmosfera e a utilização da superfície terrestre, resultando em um aumento do dióxido de carbono (CO₂). Isso é comprovado pelo IPCC, que em seus relatórios apresenta evidências científicas cada vez mais sólidas e confiáveis (JUNGLES, 2018; BERTOLAMI, 2020).

1.2 Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas

O IPCC foi fundado em 1998 pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente e pela Organização Meteorológica Mundial com o objetivo principal de reunir e fornecer informações precisas sobre as alterações climáticas, além de servir como uma referência para as negociações globais relacionadas ao assunto. A finalidade é fornecer informações úteis que possam ser usadas para a elaboração de políticas climáticas.

Até agora, o IPCC é responsável pela publicação de seis relatórios de avaliação conhecidos como AR. Eles são produzidos por centenas de cientistas líderes que se oferecem como coordenadores de autores principais e autores principais dos relatórios. Estes, por sua vez, recrutam centenas de outros especialistas como autores contribuintes para fornecer conhecimento complementar em áreas específicas. Os autores dos relatórios são atualmente agrupados em três grupos de trabalho: Grupo de Trabalho I (Bases da Ciência Física), Grupo de Trabalho II (Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade) e Grupo de Trabalho III (Mitigação das Mudanças Climáticas). Isso permite que milhares de publicações anuais sejam avaliadas e resultem em resumos

sobre o que se sabe sobre as mudanças climáticas, seus impactos, riscos futuros e opções de adaptação e mitigação (IPCC, 2022).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar a contribuição do setor agrícola na emissão de GEE com foco no gás Dióxido de Carbono (CO₂) e Metano (CH₄) e comparar os dados obtidos entre Brasil e os principais emissores da atualidade.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar um levantamento bibliográfico sobre as emissões e impactos dos gases Dióxido de Carbono (CO₂) e Metano (CH₄) diretamente ligados à agricultura através de mecanismos de busca direcionados, como Google Scholar, SciELO e JSTOR.
- Realizar um comparativo entre as emissões dos gases Dióxido de Carbono (CO₂) e Metano (CH₄) do Brasil e principais países emissores de GEE da atualidade.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Histórico e cenário climático mundial

As mudanças climáticas podem ser descritas como variações no clima a nível global ou regional que se mantêm por períodos prolongados, podendo alterar o equilíbrio dos ecossistemas e que podem ter origem tanto de processos naturais, quanto da ação do homem, colaborando desta forma para o agravamento e aceleração do aumento da temperatura no planeta, impactos esses que podem durar séculos. (ARTAXO, 2020; INPE, 2020).

A Terra já experimentou diversas mudanças climáticas ao longo de seus 4,5 bilhões de anos, causadas por eventos como o deslocamento das placas tectônicas, impactos com meteoros, erupções vulcânicas e variações na intensidade solar (CASAGRANDE, 2021). Estas mudanças foram tão intensas que, no passado, regiões próximas ao equador, que são consideradas as mais quentes do planeta, eram cobertas por geleiras (ALMEIDA; CARNEIRO, 1995).

As mudanças climáticas podem ser causadas por uma combinação de fatores internos e externos. Segundo Silva (2009), os fatores internos incluem variabilidades nos sistemas climáticos, como vulcanismo, atividade solar e composição da atmosfera. Por outro lado, os fatores externos são resultantes da ação humana e são conhecidos como antropogênicos.

No que tange o efeito estufa, este é conceituado como um fenômeno natural que ocorre quando a atmosfera terrestre repleta de gases retém a radiação solar, aquecendo a terra e permitindo com isso que haja as condições essenciais para a vida na Terra.

Gases conhecidos como gases do efeito estufa (GEE) têm a capacidade de absorver parte da radiação vinda da superfície da Terra e reemitir de volta, resultando na presença de quase o dobro de energia na atmosfera em relação à quantidade recebida do Sol, tornando o clima cerca de 30°C mais quente do que seria sem a presença destes gases (MOTA, 2018; ALBUQUERQUE, 2019).

A preocupação sobre a temática pela comunidade científica passou a ser reconhecida pela primeira vez no final dos anos de 1980, onde meteorologistas já começaram a associar que as ações humanas pudessem estar contribuindo ativamente com o aumento da temperatura do planeta. Estas informações baseavam-se, na época, nos resultados obtidos por modelos globais simulados por máquinas em centros de pesquisas (CASAGRANDE, 2021).

Desde a criação do IPCC em 1988, a evidência de agravamento das mudanças climáticas aumentou significativamente. O IPCC tem o objetivo de reunir governos de todo o mundo para discutir questões relacionadas ao clima e coletar informações produzidas por cientistas e pesquisadores de todo o mundo. Através desse trabalho, foi confirmada a hipótese de que as alterações climáticas são realmente ocorrendo, sendo influenciadas fortemente por ações humanas.

Em 1992 ocorreu no Rio de Janeiro, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), evento o qual demonstrou o interesse internacional para um desenvolvimento socioeconômico com o uso dos recursos naturais através de meios mais sustentáveis na economia (PEGUIM, 2020; SILVA, 2020).

O quinto relatório do IPCC, publicado em 2013 (AR5), destacou que a influência humana no aquecimento global é evidente e que a queima de combustíveis fósseis e o desmatamento são as principais causas do aumento da temperatura observado desde a metade do século XX (MARENGO, 2018; TAVARES, 2021).

Em dezembro de 2015, a 21ª Conferência das Partes das Nações Unidas sobre mudanças climáticas, conhecida como COP 21 ou "Acordo de Paris", foi realizada. O objetivo do evento era desenvolver um tratado global para a redução de emissões de CO₂ a partir de 2020. Os governos participantes se comprometeram a atuar para permanecer uma temperatura média mundial abaixo de 2°C em relação aos níveis pré-industriais (1850-1900) e esforçar-se para barrar o aumento a 1.5°C. O Brasil também se comprometeu a alcançar metas de redução de emissões em sua economia como um todo. (LAL, 2016; AUBERTIN, 2021).

Em agosto de 2021, o sexto relatório (AR6) foi publicado, trazendo uma análise aprofundada sobre as mudanças climáticas e comprovando as afirmações anteriores.

Este relatório oferece um grau mais elevado de precisão nas análises sobre o que está acontecendo e nas projeções para o futuro (ROCHA, 2021).

Os dados mais recentes presentes no último relatório (AR6) de 2021 demonstram que o planeta está com uma média em torno de 1.1°C maior em comparado à média registrada entre 1850 e 1900, usada como referência de temperatura normal pois não havia ainda a interferência humana ativa no clima, e esses números continuam em progressão, como é notado na FIGURA 1. Na verdade, ao analisar as áreas continentais, é possível verificar que esse número apresenta-se ainda maior, alcançando 1.6°C comparado a 0.9°C nos oceanos.

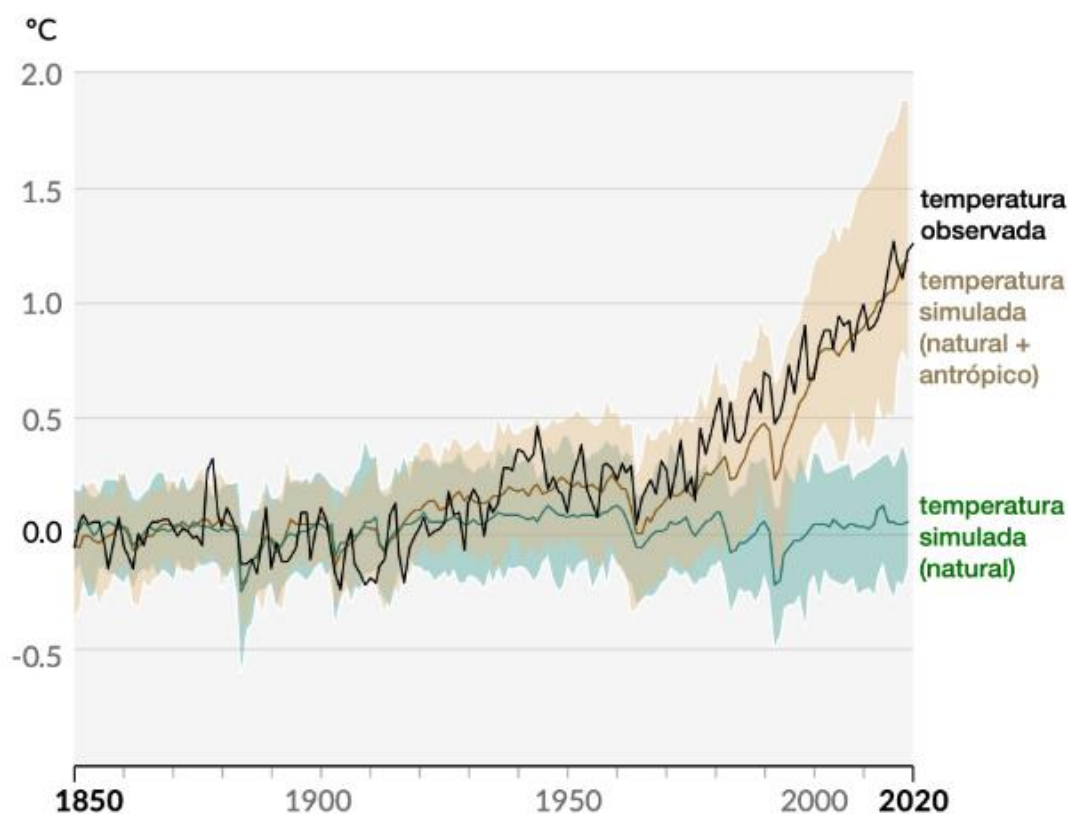


Figura 1 - O gráfico analisa a simulação de causas humanas e naturais do aquecimento global do ano de 1850 a 2020 (IPCC, 2021).

Também é destacado a ligação inquestionável com os GEE, especialmente com o CO₂ (dióxido de carbono), que atingiu uma concentração recorde de 410 partes por milhão (ppm) em 2019, a mais elevada dos últimos 2 milhões de anos, juntamente com a crescente concentração de CH₄ (metano) e N₂O (óxido nitroso), conforme destaca o IPCC AR6 (2021).

Segundo Rocha (2021), existe um efeito contrário ao aquecimento global causado pelo efeito estufa, no qual as partículas de poluição urbana refletem a energia do sol de volta para o espaço, causando um efeito de resfriamento. Essa redução no aquecimento global é mencionada na IPCC de 2021, com estimativa de 0.5°C de diminuição até o momento. Assim, o efeito dos aerossóis e fuligem presentes na atmosfera está disfarçando cerca de um terço do aquecimento global já ocorrido.

De acordo com Santos (2022), os fenômenos climáticos intensificados como tempestades, inundações, desertificação, tufões, furacões e o derretimento das camadas de gelo dos polos, bem como o aumento do volume dos oceanos, chuvas em algumas regiões e seca em outras, são consequências do aquecimento global. Além disso, segundo Rocha (2021), nos próximos séculos, haverá efeitos irreversíveis, como o aquecimento, a acidificação e a desoxigenação nos oceanos, tendo um impacto direto e significativo na biodiversidade marinha.

Segundo Moreira (2022), o elevamento do nível do mar é resultado do derretimento das geleiras polares, causando uma expansão da água marinha nas regiões costeiras. Além disso, a extinção de espécies é esperada devido às suas necessidades específicas de ambiente, devido ao aumento da radiação e do calor solar proveniente das brechas na camada de ozônio.

De acordo com Spirandeli (2022), acontecimentos climáticos extremos já são registrados em todo o mundo e estão associados ao aquecimento global. Alguns exemplos incluem secas na Espanha, Austrália, Amazônia e sul do Brasil, invernos mais intensos na Ásia e Europa, ondas de calor na Europa durante o verão, ciclone Catarina no Brasil, furacões intensos e recorrentes no Atlântico Norte, entre outros. Além disso, a diminuição da qualidade do ar também é mencionada como problema ambiental, especialmente em áreas urbanas e industriais, onde os gases poluentes representam um risco para a saúde e a qualidade de vida dos habitantes.

3.2 Setor agrícola: Aspecto mundial

Com a crescente população mundial, estima-se que haja um aumento de 70% na produção de alimentos até 2050 para atender aos 10 bilhões de habitantes previstos (GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY, 2019; DIAS, 2021). Além disso, com a urbanização prevista de crescer de 55% para 70%, isso impactará a produção de alimentos e os hábitos alimentares. Esses fatores combinados terão um grande impacto sobre as terras aráveis disponíveis para a produção (LOPES, 2022; SABRY, 2021). Para atender a essa demanda, estima-se que até 2050 haverá um aumento de 200 milhões de hectares nas terras aráveis, com ênfase na África Subsaariana e na América Latina (LOPES, 2022).

Os países desenvolvidos e com atividades agrícolas intensas são os maiores contribuintes para as emissões de GEE. A World Resources Institute (2016) publicou um acompanhamento das emissões dos países mais responsáveis, tanto passado quanto presente. As evidências apontam que a China é o maior emissor, seguida pelos Estados Unidos, Índia, Rússia e Japão. O Brasil é o sexto maior emissor anual.

Nos países mais industrializados, as atividades que mais contribuem para o efeito estufa são a queima de combustíveis fósseis e atividades industriais. Já no Brasil, mais de 70% das emissões de gases estão relacionadas a mudanças no uso da terra e remoção de florestas para fins agrícolas (BRASIL, 2010).

Vasconcelos (2019) explica que a mudança no uso da terra é quando se converte áreas com vegetação local para pastos ou sistemas agrícolas, resultando na queima de biomassa vegetal e mineralização da matéria orgânica do terreno. Sendo portanto um importante emissor de GEE, a mudança de uso da terra também resulta na perda da proteção natural e exposição da matéria orgânica do solo (MOS) a agentes que causam sua degradação.

3.2.1 Emissões de dióxido de carbono

O CO₂ é um gás natural da atmosfera, mas sua presença é insignificante em situações naturais, como erupções vulcânicas (SPIRANDELI, 2022).

Das emissões que ocorrem à atmosfera, cerca de 25% do CO₂ são originadas do solo, importante reservatório de carbono. Isso ocorre pois, na agricultura,

cultivo do solo por meio de aração e gradagem aumenta a perda de matéria orgânica do solo, tendo grande relação a emissão do gás com a quantidade de ruptura dos agregados e solo revolvido. (GARCIA, 2020).

Além disso, imediatamente após a adição de material orgânico no solo, ocorre um aumento da população e microorganismos que, através da ação respiratória celular, elevam a emissão do CO₂. (VASCONCELOS, 2019).

O setor da cana-de-açúcar é um dos principais pilares da agricultura brasileira e, ao mesmo tempo, a mais utilizada fonte de energia por biomassa no país. Isso se deve à alta demanda, sendo o etanol derivado da planta o biocombustível mais amplamente utilizado (Nolêto, 2011; Pina, 2021).

O processo de colheita da cana de açúcar era, tradicionalmente, iniciado com a queima das folhas. Embora seja uma prática fácil e que garante a qualidade da cana para o seu processamento, tem impactos negativos significativos na qualidade do solo das áreas cultivadas. Além de causar outros problemas ambientais, como a emissão de gases poluentes e a deposição de cinzas nas áreas urbanas, a queima também prejudica a estrutura do solo, acelerando a decomposição da matéria orgânica e comprometendo a sustentabilidade do sistema.

No entanto, devido a alta pressão da sociedade e da necessidade da redução da emissão de GEE, este método vem sendo utilizado sem o uso do fogo, através da colheita mecanizada (PORTELA, 2021).

Outro fator que leva a uma alta emissão de carbono é a energia gasta nas fazendas durante os procedimentos relacionados à agricultura, principalmente para realização de cultivo de culturas, colheita, aquecimento de culturas protegidas em estufas, secagem e armazenamento de culturas e bombeamento de água. Essa energia surge da combustão de combustíveis fósseis e por consequência tem a liberação dos gás carbônico para sua utilização (ROSA, 2021; FLAMMINI, 2022).

Em sua pesquisa, Fammini (2022) indica que o uso de energia em fazendas é um componente importante e crescente das emissões de GEE na agricultura, correspondendo a 892 Mt CO_{2eq} ano dentre os países analisados. Ressalta também

que as emissões da combustão móvel na agricultura (geralmente tratores ou outras máquinas de campo) representam uma grande parcela na maioria dos continentes.

Fica evidenciado, como mostra a Figura 2, que a energia elétrica é a fonte de energia mais utilizada, seguida pelo óleo diesel e pelo carvão.

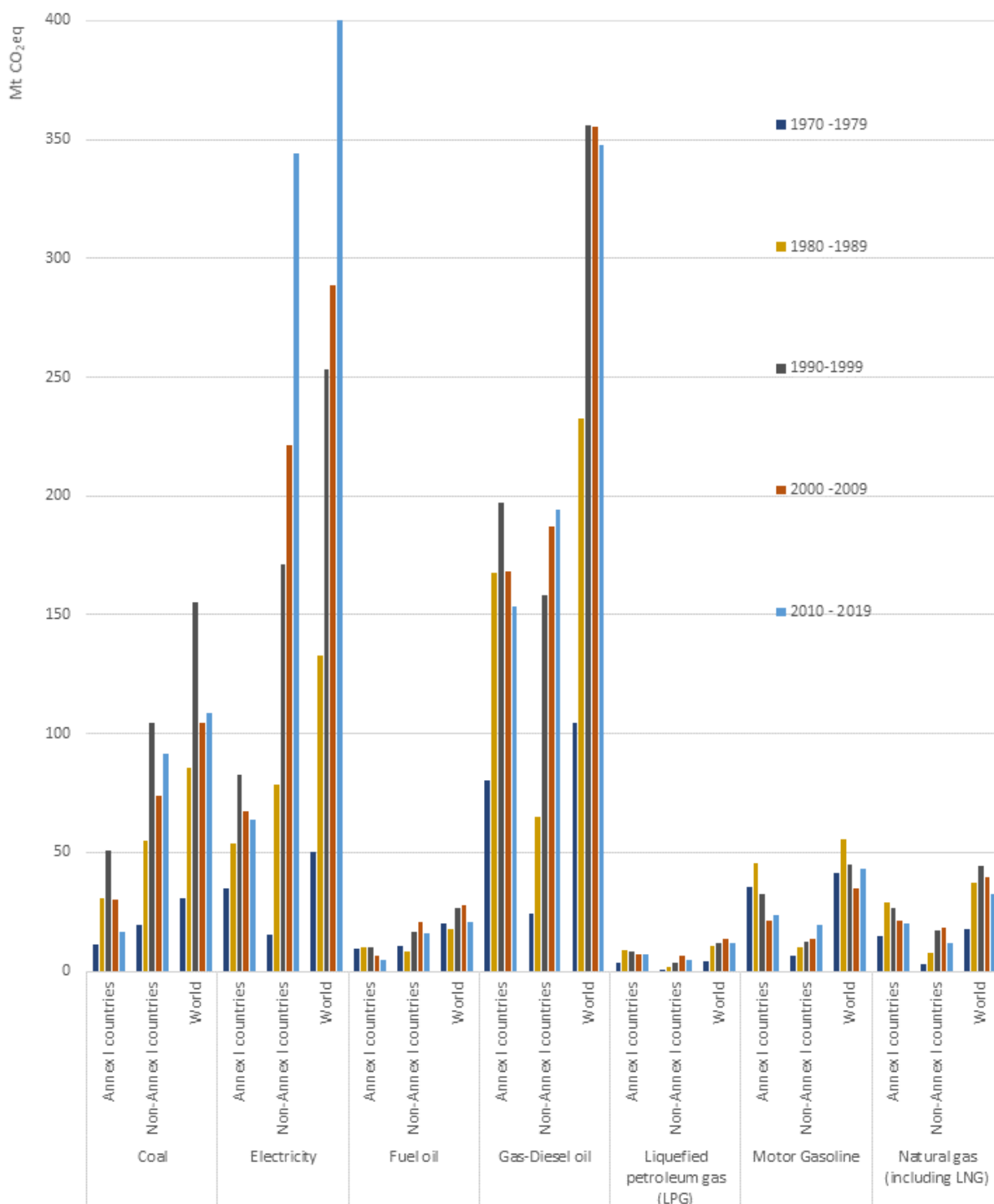


Figura 2 - Demonstrativo das fontes de energia de carvão, eletricidade, óleo combustível, óleo diesel, gás liquefeito de petróleo, gasolina e gás natural com seus respectivos usos para obtenção de energia no mundo desde o ano de 1970 até 2019 (FLAMMINI, 2022).

3.2.2 Emissões de metano

No solo, o metano (CH_4) é obtido como resultado do processo de oxidação da matéria orgânica por microrganismos. Este gás possui grande importância devido a sua capacidade 21 vezes maior em comparação com o dióxido de carbono, pois suas moléculas possuem mais facilidade e capacidade para a absorção da luz infravermelha térmica, levando a um maior efeito de aquecimento.

A emissão é principalmente causada pela queima de biomassa, aterros, cultivo em áreas alagadas, criação de animais ruminantes e uso de combustíveis fósseis (PORTELA, 2021). As emissões humanas correspondem a 64% das emissões totais de metano na atmosfera da Terra (VASCONCELOS, 2019).

No sul do Brasil, o cultivo de arroz ocorre uma vez por ano e é seguido por um longo período de descanso. O Rio Grande do Sul é responsável pela maior parte da produção do arroz no Brasil, devido à presença de "terras baixas" ideais para a produção de arroz irrigado por inundação (MABONI, 2021). O cultivo de arroz irrigado mantém a área alagada intermitentemente por meses, e as condições anaeróbicas resultam na produção de metano através da decomposição de compostos orgânicos por bactérias metanogênicas. Esse metano é posteriormente transportado da camada inferior da lâmina d'água para a atmosfera, principalmente pelo parênquima da própria planta de arroz (LIMA, 2021; SONG et al, 2015).

Segundo MABONI (2021), há diversas formas de reduzir as emissões de metano. Estas incluem a administração diferenciada da irrigação, melhoramentos genéticos nas plantas e drenagem eficiente na área de cultivo durante a entressafra, assim como a incorporação rápida dos resíduos de arroz após a colheita, o que acelera o processo de decomposição da matéria orgânica e, conseqüentemente, reduz a disponibilidade de compostos na próxima temporada de plantio. Isso foi comprovado por estudos como o de BAYER et al. (2015).

3.3 Políticas brasileiras para o controle da emissão de GEE: Plano ABC

Desde 2004, o Brasil tem buscado controlar as queimadas na Amazônia por meio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), que permitiu o acesso às imagens geradas por sistemas de monitoramento por satélite, permitindo que a população em geral pudesse fiscalizar os índices de desmatamento do local. Além disso, houve também a criação do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) em 2004, integrando o combate ao desmatamento às políticas do Estado (SILVA, 2020).

No decorrer da 15ª Conferência das Partes (COP15) que ocorreu no 5 anos após, o governo brasileiro assumiu com a meta de redução de 36,1% a 38,9% das emissões de GEE até 2020. Para tanto, foi criada a Política Nacional de Mudança do Clima por meio da Lei nº 12.187, que determina as metas de redução de emissões. No ano seguinte, o Decreto nº 7.390 instituiu o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas (Plano ABC), que prevê as ações de mitigação e adaptação climática para o período de 2010 a 2020, e estabelece os métodos para alcançar as metas da PNMC.

O Plano ABC tem como objetivo permitir o financiamento para agricultores, visando aumentar as ações de mitigação de emissões de GEE, reparo de áreas degradadas, redução do desmatamento, aumento da qualidade do solo, fixação de biomassa e tratamento de resíduos. Isso é alcançado incentivando a adoção de Sistemas de Produção Sustentáveis (SPS) na agropecuária.

Para atender às necessidades distintas de cada estado brasileiro, foi planejada uma proposta de incentivos para o fortalecimento da governança estadual, por meio das secretarias estaduais de agricultura. Esta proposta visa a formação de grupos gestores estaduais (GGE), que poderão elaborar seus próprios Planos Estaduais ABC (LOPES, 2022).

Também é importante salientar a diferença entre o Plano ABC e o Programa ABC. O primeiro estabelece as ações, metas e monitoramento da execução dos

programas, enquanto o segundo é uma linha de crédito rural que permite a implementação do Plano ABC. Esse crédito fornece recursos para o setor rural e indústrias agrícolas para cobrir projetos, investimentos ou comercialização, fortalecendo assim o setor agrícola, melhorando o uso da terra e gerando renda (FERNANDES, 2019, GIANETTI, 2021).

Segundo Manzatto et al. (2020), entre os anos de 2010 e 2018 foram registrados resultados positivos no que diz respeito à reparação de pastagens degradadas. Com o financiamento do programa, 3.31 milhões de hectares foram recuperados, porém, sem levar em conta o financiamento, esse número chegou a 10.44 milhões de hectares, o que representa 70% da meta de 15 milhões de hectares estabelecida. Em relação à adoção da tecnologia de integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF), a meta foi superada em 146%, enquanto que no uso da tecnologia de plantio direto (SPD), a meta foi superada em 59%. Já no caso da fixação biológica de nitrogênio (FBN) na expansão do plantio de soja, foi correspondente a 181% da meta estabelecida.

Menezes (2022) cita que, no que abrange a agricultura neste mesmo período de 2010 a 2018, o Plano ABC obteve resultados superiores ao estipulado em sua meta em dois de seus programas. No programa de Fixação Biológica de Nitrogênio - FBN alcançou 181% de sua meta, onde teve 9.97 milhões de hectares plantados. Já o programa de Sistema de Plantio Direto alcançou 125% de sua meta, obtendo 9,97 milhões de hectares plantados. E por fim o programa de Florestas Plantadas alcançou 37% de sua meta, chegando em um total de 1.10 milhões de hectares plantados (FIGURA 3).



Figura 3 - Demonstrativo dos dados de alcance das metas do plano ABC na agricultura brasileira do ano de 2010 à 2018 (MENEZES, 2022).

De acordo com Gomes (2018), o Programa ABC foi considerado instável, possuindo oscilações importantes na quantidade de contratos de cada estado e no todo de contratos por ano safra. Além disso, em nenhum dos anos previstos os recursos disponíveis foram totalmente contratados. Isso demonstra a falta de atratividade para os agricultores, sendo necessária uma revisão das vantagens disponíveis para que haja maior adoção e, conseqüentemente, melhorando o atingimento das metas de redução das emissões assumidos livremente pelo país.

O fato é reforçado por Freitas (2020), que cita que o acesso ao crédito pelo produtor possui dificuldades, principalmente quando se leva em conta o perfil e região das atividades agropecuárias. Destaca-se ainda as grandes exigências solicitadas, como boa elaboração dos projetos, georreferenciamento e cadastramento ambiental rural do território que será financiado, incluindo a apresentação de documentações do imóvel rural. Por fim, com a soma dos obstáculos, tem-se a falta do aceite para contratação de empréstimo, independentemente do estado e regiões da federação.

Apesar das dificuldades enfrentadas, o plano ABC teve sua continuidade confirmada para o período de 2021 a 2030 (Plano ABC+). Este plano apresenta uma ampliação das tecnologias disponíveis, passando de seis para nove. Entre as novas tecnologias estão o Sistema de Plantio Direto com hortaliças, a Terminação Intensiva e os Sistemas Irrigados, incluindo um destaque para os Sistemas Agroflorestais. Além disso, o plano também destaca o desenvolvimento das estratégias para nos adaptarmos à mudança climática e inclui a Abordagem Integrada da Paisagem (AIP)

para a administração do uso do solo em propriedades rurais, microrregiões e territórios (BRASIL, 2021).

3.4 Estratégias para redução das emissões de GEE na agricultura

Para compreender as soluções relacionadas às mudanças climáticas, é preciso compreender dois conceitos. O primeiro é a adaptação às mudanças climáticas, que se refere a mudar nossos comportamentos, sistemas e, em alguns casos, até nossos estilos de vida, para proteger nossas pessoas, economias e meio ambiente dos impactos das mudanças climáticas. O segundo é a mitigação das mudanças climáticas, que entende-se por esforçar-se para evitar ou, pelo menos, diminuir as emissões de GEE na atmosfera, visando diminuir o aumento da temperatura global.

Estes dois termos, embora similares, possuem diferenças que são necessárias à compreensão e obtêm caráter complementar para que as ações a serem tomadas no processo de reversão da situação climática mundial sejam alcançadas (ROCHA, 2019).

Embora estudos comprovem a situação atual com relação ao aquecimento global e mesmo que as projeções futuras sejam claras, Spirandeli (2022) cita algumas barreiras às tomadas de ações. Como o caráter hipotético do aquecimento global que, levando em consideração que o cenário demonstra previsões que são lidas em gráficos e tabelas, mas que serão vividos por gerações futuras, demandam ações movidas por altruísmo daqueles que possuem poder para a tomada das decisões. Além da vida moderna, a qual precisará passar por grandes mudanças no estilo de vida.

De acordo com Cintra (2020), as principais estratégias para a redução das emissões de GEE incluem a utilização de fontes de energia renovável, a elaboração de políticas públicas para prevenção ao desflorestamento e a utilização de práticas conservacionistas na agricultura. Alguns sistemas de uso e manejo do solo também podem ajudar a reduzir a emissão de GEE, tais como o plantio direto e a integração lavoura-pecuária ou lavoura-pecuária-floresta.

Facilitar o sequestro de carbono pelo solo mediante práticas ecológicas como agricultura de conservação, cultivo de cobertura morta e agrofloresta, se implantadas em nível global, promoveriam a redução da emissão de GEE, segurança alimentar e a recuperação de áreas degradadas (LAL, 2016).

3.4.1 Sistemas de Integração

O uso de Sistemas Integrados é uma técnica de produção agropecuária que combina diferentes sistemas de produção, como agrícola, pecuário e florestal, em uma única área. Isso pode trazer vários benefícios, como melhorar a qualidade do solo, melhorar as condições de vida para os animais e aumentar a produtividade da lavoura. Existem várias combinações possíveis, incluindo o Sistema Silvicultoril ou Integração Lavoura-Floresta (iLF), o Sistema Agropastoril ou Integração Lavoura-Pecuária (iLP), o Sistema Agrossilvipastoril ou Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) e o Sistema Silvipastoril ou Integração Pecuária-Floresta (iPF) (SOUSA, 2022).

De acordo com Kichel (2019), sistemas de integração agropecuária são antigos e têm sido reutilizados com o objetivo de promover uma agricultura mais sustentável. Para que a sustentabilidade seja alcançada, é necessário garantir que a produção resultante seja mantida ou melhorada, sem prejudicar o meio ambiente e contribuindo com toda a sociedade. Além disso, é importante manter ou aumentar as vantagens econômicas para os produtores.

Na escolha e implantação de sistemas de integração, é importante considerar diversos fatores para garantir o sucesso. Um dos principais é a análise das condições edafoclimáticas e da qualidade do solo no local. Para assegurar a eficiência dos sistemas, é fundamental que o solo possua porosidade necessária para a circulação de água e gases, e resistência adequada para o crescimento e desenvolvimento das raízes das culturas.

Outro importante fator para a escolha do sistema de integração é o econômico, onde a disponibilidade de recurso econômico e tecnológico está totalmente ligado à amplitude do projeto. O sistema silvipastoril é considerado o mais econômico e prático

de ser implementado, já sistemas que envolvem lavoura necessitam de maiores investimentos (SOUSA, 2022).

3.4.2 Sistemas de plantio direto

A técnica de Plantio Direto é uma prática conservacionista que evita a gradagem do solo durante a preparação para o plantio ou rotação de culturas. Isso previne a erosão do solo, a perda de nutrientes e portanto, a redução da produtividade (MANZATTO et al, 2019).

Segundo a Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha (FEBRAPDP), ([201-?]), este sistema possui três pilares: a cobertura se matem no solo (palhadas ou plantas vivas) a ausência de agitação do solo (restrito às covas para mudas ou linha de semeadura), e a variedade de plantas no rodízio de cultivos. Com isso, ao ser comparado aos sistemas que utilizam o preparo do solo, é possível obter diversas vantagens como a recuperação da matéria orgânica, a diminuição da emissão de gases produtores do efeito estufa, da biodiversidade e da resiliência do terreno, entre outros benefícios, o que permite o progresso de uma agricultura sustentável.

3.4.3 Agricultura sintrópica

A conservação e ampliação das florestas é crucial para as ações de combate ao aquecimento global, pois são responsáveis por muitos serviços ecossistêmicos, como a circulação de nutrientes, regulação do clima e da água, produção de oxigênio e acúmulo de carbono. Estes dois últimos processos acontecem através da fotossíntese, na qual compostos de carbono são absorvidos e guardados nas árvores, especialmente nas folhas, raízes, outras estruturas e madeira, liberando oxigênio para o ambiente. Dessa forma, as florestas são responsáveis por acumular uma grande quantidade de carbono gerado(SPIRANDELI, 2022).

A agricultura sintrópica é considerada uma iniciativa de base natural, sendo conceituado como um sistema agroflorestal que tem a sucessão ecológica como principal estratégia, produzindo uma floresta natural a qual não utiliza de transgênicos,

prezando pela variedade de produtos que são cultivados, não utilizando de biocidas sintéticos ou fertilizantes e por inclinar-se à autonomia de matérias-primas de qualquer origem, já que se promete criar o próprio adubo dentro do sistema. Dessa forma o funcionamento assemelha-se ao funcionamento de uma floresta nativa, com manejo que acelera os processos naturais e potencializa a produtividade. (GATELLI, 2022).

Este modelo agrícola apresenta cinco princípios de sustentação: a cobertura do solo, a maximização da fotossíntese, a estratificação florestal, a sucessão florestal e o manejo ativo do sistema (EILLS, 2021).

Com a permanência das espécies no sistema por mais tempo, tem-se uma das soluções mitigadoras caracterizada pelo sequestro do carbono. Isso ocorre utilizando-se de espécies lenhosas de ciclo longo. O processo de fotossíntese realizado pelas espécies vegetais resulta no sequestro de carbono ocorrendo sua fixação na biomassa lenhosa destas espécies e fixação no solo na forma de matéria orgânica, retendo boa parte do CO₂ (GATELLI, 2022).

O modelo agrícola utilizado atualmente é altamente dependente de insumos externos e o sistema perde sua fertilidade conforme o tempo avança, até o solo atingir seu limite e tornar-se improdutivo, sendo inevitavelmente abandonado. Já no sistema agroflorestal sintrópico, quanto mais velho o for, mais assemelha-se a uma floresta natural e com o tempo o sistema atinge o equilíbrio, sendo capaz de se auto regular e se auto sustentar, dispensando insumos externos (GATELLI, 2022).

4 METODOLOGIA

A estratégia inicial deste trabalho foi produzir uma pesquisa geral sobre a temática para montar um arsenal de estudos que providenciasse as informações necessárias para podermos analisar com propriedade o assunto, garantindo conclusões relevantes sobre o tema.

Para tal, utilizou-se como metodologia a busca das informações originadas de artigos científicos, periódicos, trabalhos acadêmicos, dissertações, conferências e convenções as quais tratam do assunto abordado ou dessem subsídios para a construção da pesquisa.

Também foi selecionado com prioridade todo conteúdo que fosse atual, levando em consideração um máximo de 5 anos desde sua publicação até o ano atual, mas não somente estes, dando também abertura para todo conteúdo que fosse relevante à pesquisa, para que desta forma as informações trazidas fossem atualizadas e coerentes com o cenário atualmente vivido. Fazendo assim, com que houvesse a contextualização das informações e atualização de alguns dados.

A princípio houve a introdução conceitual dos assuntos que seriam abordados no trabalho, contextualizando sobre a temática e permitindo assim a continuidade do assunto. Posteriormente, realizou-se uma busca quanto à situação mundial no setor agrícola, para que se fosse possível compreender o papel do Brasil neste cenário e, posteriormente, compreender quais as possíveis soluções e práticas encontradas e apontadas para as problemáticas encontradas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com um relatório do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, as emissões globais de GEE alcançaram uma média de 54,4 GtCO₂e entre 2010 e 2019. Há previsão de um aumento de, pelo menos, 0,26 GtCO₂e, ou 0,2%, sem considerar dados sobre o uso da terra, mudanças no uso da terra e silvicultura, os quais ainda não estavam disponíveis para as projeções. Isso indica que as emissões devem ser similares ao ano de 2021, e podem superar os anos anteriores.

De 2019 para 2020 houve uma grande queda nas emissões, equivalente a 4.7%, a maior queda absoluta desde 1970, resultado obtido devido à pandemia da Covid-19, no entanto o efeito teve um curto período, com aumento contínuo posterior. Já segundo o SEEG (2021), o Brasil foi possivelmente o único país a contabilizar aumento das emissões no ano de 2020. O principal fator a explicar a elevação foi o desmatamento, em especial na Amazônia e no Cerrado.

Em 2020 o setor de agricultura, silvicultura e mudanças no uso da terra foram responsáveis por 18% do total das emissões, o correspondente à 9.5 GtCO₂eq (IPPC, 2021). Esse mesmo setor foi responsável pela redução das emissões em diversos países, atuando como um sumidouro líquido dos gases. Sem contabilizar as liberações e retirada de gases desse setor, as emissões totais seriam maiores em até 33% na Federação Russa, 17% nos Estados Unidos da América, 9% na Índia, e cerca de 8% na China e na União Européia. Porém, a situação não é a mesma para o Brasil e Indonésia, onde esse mesmo setor é responsável por 44% e 22% das emissões totais, como mostra a Figura 4 (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2022).

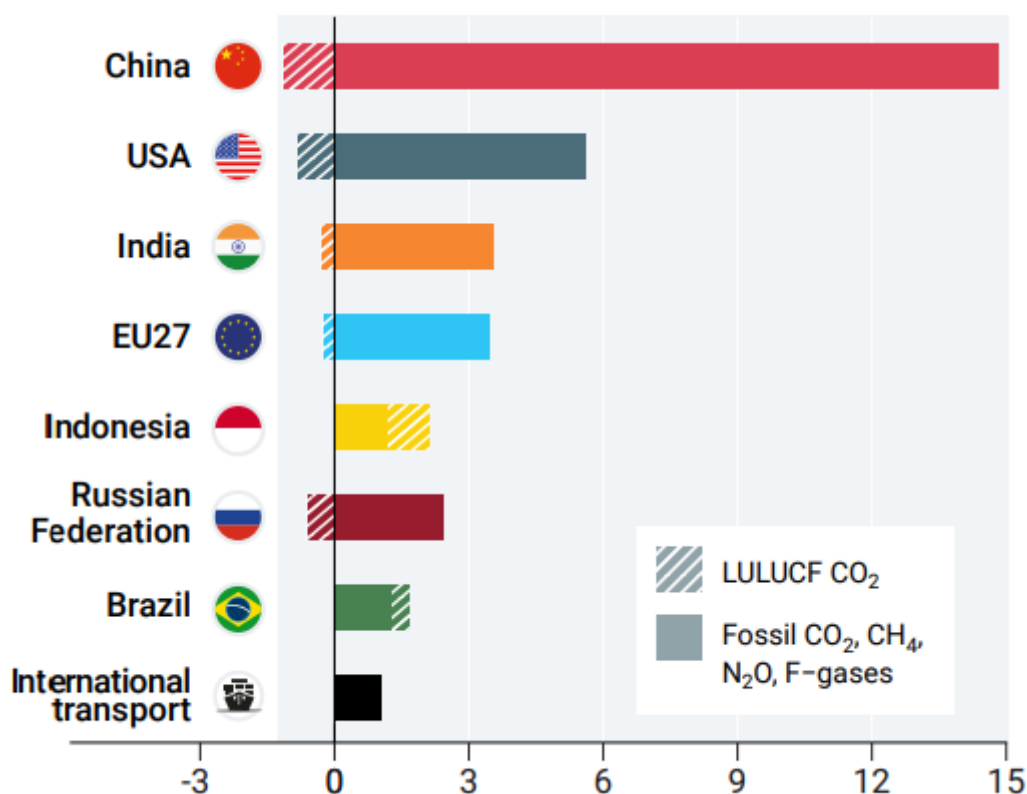


Figura 4 - Tendência de emissões de GEE em alguns países no ano de 1990 a 2020, incluindo as emissões do setor de uso da terra, mudança no uso da terra e silvicultura (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2022)

5.1 China

A China é mundialmente a maior emissora de GEE, representando em 2019, 27% do total de emissões mundiais. De acordo com Larssen (2021), o país alcançou um marco em 2019, onde as emissões de GEE da China ultrapassaram o limite de 14 gigatoneladas pela primeira vez, atingindo 14.093 milhões de toneladas métricas de CO equivalente (MMt CO e), representando um aumento de 25% comparado à última década. Com esses resultados, a China conseguiu superar todas as emissões combinadas dos outros países, que juntos somam um total de 14,057 MMt CO e no mesmo ano.

Em contrapartida, também é lembrado que a China é um grande país, com uma população de 1.4 bilhões de pessoas e, ao fazer um comparativo das emissões per

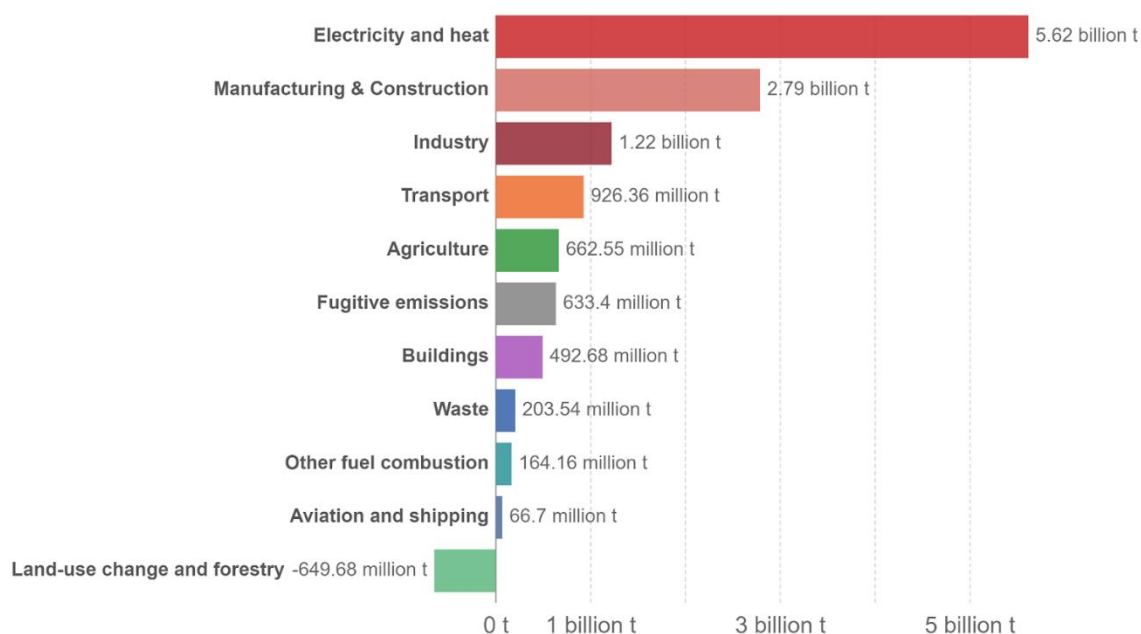
capita do país, ela permanece com níveis consideravelmente mais baixos do que as do mundo desenvolvido. No ano de 2019, as emissões per capita da China chegaram a 10.1t, sendo menores em comparação com os 17.6 toneladas/capita dos Estados Unidos, considerado o maior emissor per capita do mundo (LARSEN, 2021).

O setor de agricultura neste país no ano de 2019 foi causador da emissão de 663 milhões de toneladas de CO₂eq, o que é em torno de 5% do total de emissões (FIGURA 5).

Greenhouse gas emissions by sector, China, 2019

Emissions are measured in carbon dioxide equivalents (CO₂eq). This means non-CO₂ gases are weighted by the amount of warming they cause over a 100-year timescale.

Our World
in Data



Source: Our World in Data based on Climate Analysis Indicators Tool (CAIT).
OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions • CC BY

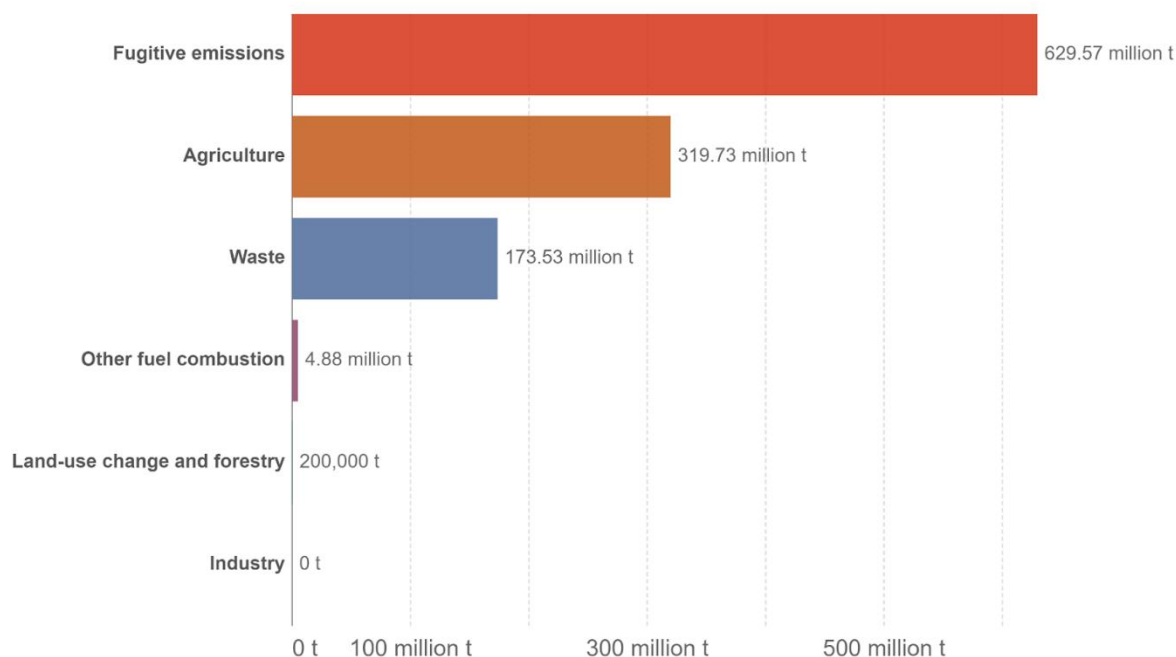
Figura 5 - O gráfico mostra a quantidade de emissão de GEE mensuradas em equivalente de carbono (CO₂eq) nos diferentes setores no ano de 2019 na China (RITCHIE, 2022).

Também é possível verificar pela figura 6 o gás metano (CH₄) isoladamente, mostrando que dentre os setores onde este gás foi emitido, o de agricultura foi detentor de 319 milhões de toneladas emitidas, também medidas em equivalentes de dióxido de carbono (CO₂eq).

Methane emissions by sector, China, 2019

Methane (CH₄) emissions are measured in tonnes of carbon dioxide-equivalents.

Our World
in Data



Source: Our World in Data based on Climate Analysis Indicators Tool (CAIT).
OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions • CC BY

Figura 6 - O gráfico mostra a quantidade de emissão do gás Metano (CH₄) em equivalente de carbono (CO₂eq) nos diferentes setores no ano de 2019 na China (RITCHIE, 2022).

5.2 Estados Unidos

Segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), o setor agrícola do país foi responsável pela emissão total de 635.1 MMTCO₂e no ano de 2020, um equivalente a 11% do total das emissões do país, conforme é visível na Figura 7. Desses 11%, o manejo do solo foi responsável por 50% (316.2 MMTCO₂e), vindo principalmente de emissões dos solos, associadas a práticas agrícolas que aumentam a disponibilidade de nitrogênio, perturbam os solos e aumentam a oxidação (por exemplo, fertilização, irrigação, drenagem, cultivo, preparo do solo, mudanças no uso da terra e deposição de esterco animal nos solos) (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2022).

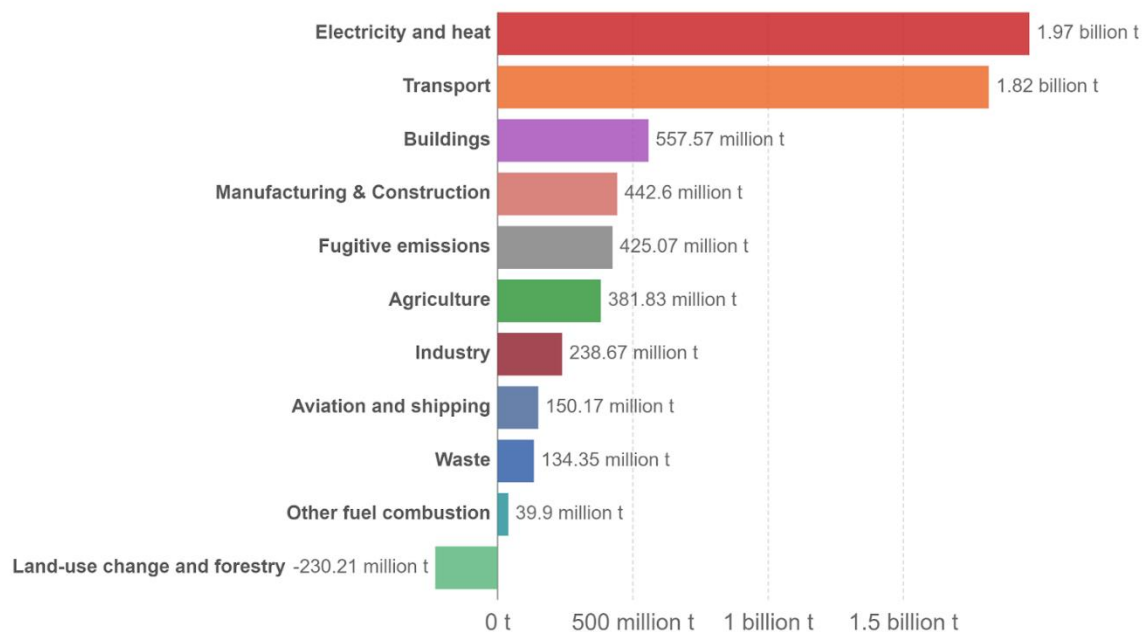
De acordo com os dados do Our World in Data, em 2019 os Estados Unidos teve uma emissão de 381,83 milhões de toneladas de CO₂eq no setor de agricultura, como mostra a Figura 7, sendo possível verificar também que o setor de Mudanças

de uso da terra e silvicultura foi causador de um sumidouro de 230,21 milhões de toneladas de CO₂eq.

Greenhouse gas emissions by sector, United States, 2019

Our World
in Data

Emissions are measured in carbon dioxide equivalents (CO₂eq). This means non-CO₂ gases are weighted by the amount of warming they cause over a 100-year timescale.



Source: Our World in Data based on Climate Analysis Indicators Tool (CAIT).
OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions • CC BY

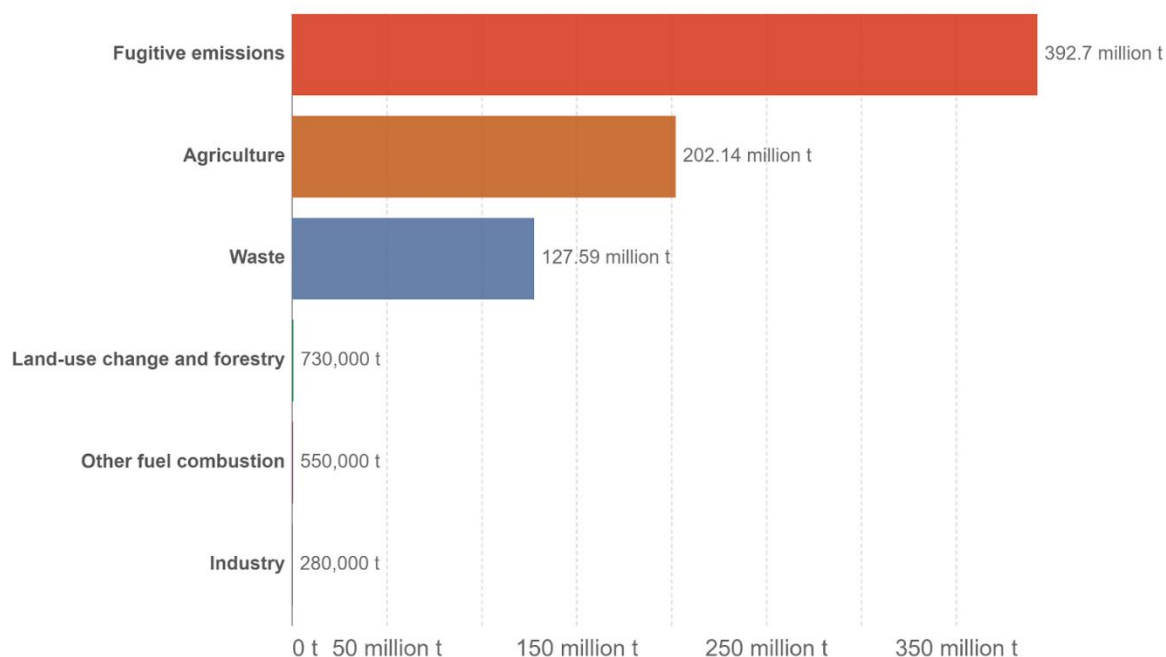
Figura 7 - O gráfico mostra a quantidade de emissão de GEE mensuradas em equivalente de carbono (CO₂eq) nos diferentes setores no ano de 2019 nos Estados Unidos (RITCHIE, 2022).

Também é possível verificar pela Figura 8 o gás metano (CH₄) isoladamente, mostrando que dentre os setores onde este gás foi emitido, o setor de agricultura foi responsável pela emissão de 202.14 milhões de toneladas, também medidas em equivalentes de dióxido de carbono (CO₂eq).

Methane emissions by sector, United States, 2019

Methane (CH₄) emissions are measured in tonnes of carbon dioxide-equivalents.

Our World
in Data



Source: Our World in Data based on Climate Analysis Indicators Tool (CAIT).
OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions • CC BY

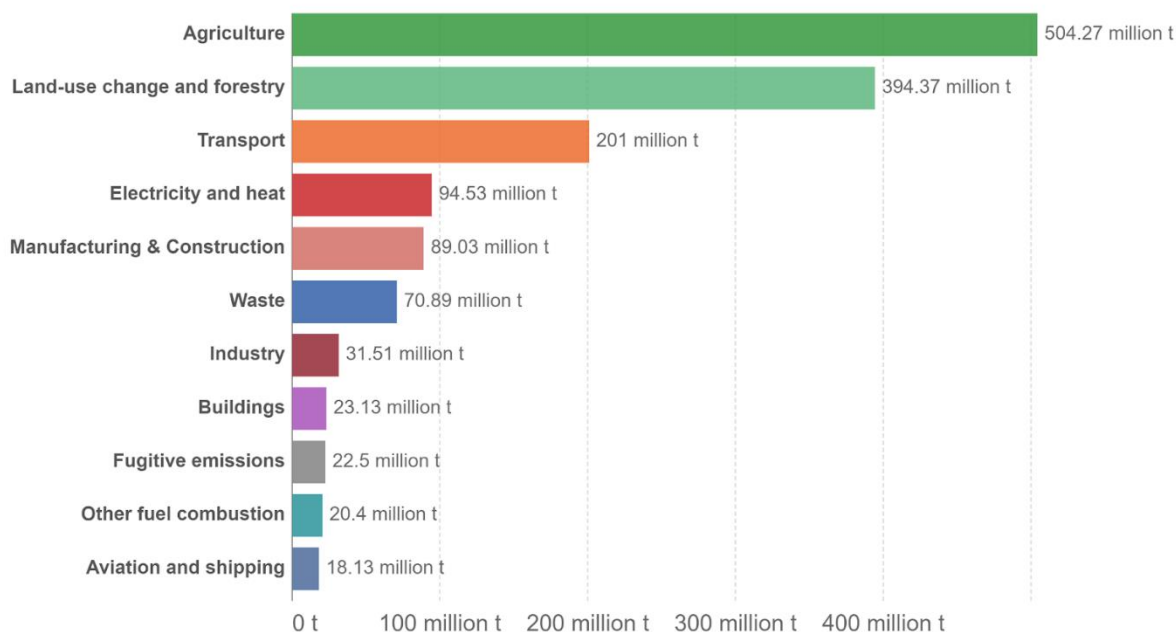
Figura 8 - O gráfico mostra a quantidade de emissão do gás Metano (CH₄) em equivalente de carbono (CO₂eq) nos diferentes setores no ano de 2019 nos Estados Unidos (RITCHIE, 2022).

5.3 Brasil

No Brasil o cenário se mostra um pouco diferente quando comparado aos países anteriores. De acordo com os dados do Our World in Data, em 2019 o país foi o causador da emissão de 504.27 milhões de toneladas de CO₂eq no setor de agricultura, sendo este o principal setor nas emissões. Quanto ao setor de Mudanças de uso da terra e silvicultura, diferentes dos outros países onde atuava como sumidouro das emissões, no Brasil ocorre o efeito contrário e, além disso, também é o segundo maior responsável pelas emissões, contribuindo com um total de 394.37 milhões de toneladas de CO₂eq, como mostra a Figura 9.

Greenhouse gas emissions by sector, Brazil, 2019

Emissions are measured in carbon dioxide equivalents (CO₂eq). This means non-CO₂ gases are weighted by the amount of warming they cause over a 100-year timescale.



Source: Our World in Data based on Climate Analysis Indicators Tool (CAIT).
OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions • CC BY

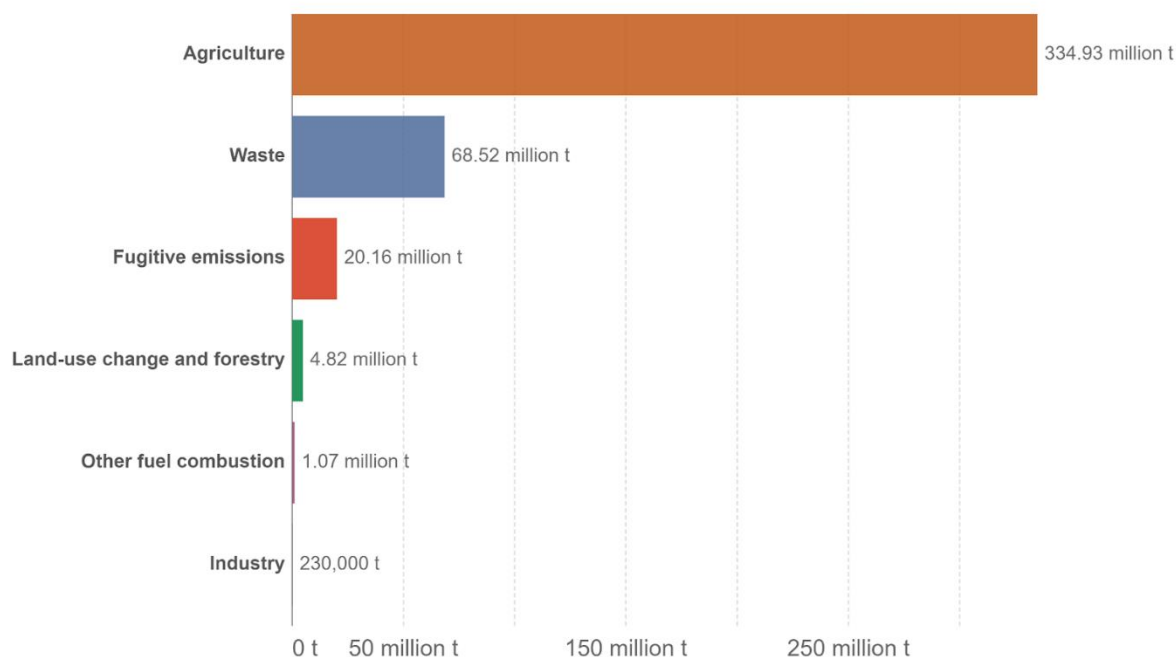
Figura 9 - O gráfico mostra a quantidade de emissão de GEE mensuradas em equivalente de carbono (CO₂eq) nos diferentes setores no ano de 2019 no Brasil (RITCHIE, 2022).

Também é possível verificar pela figura 10 o gás metano (CH₄) isoladamente, mostrando que dentre os setores onde este gás foi emitido, o setor de agricultura foi responsável pela emissão de 68.52 milhões de toneladas, também medidas em equivalentes de dióxido de carbono (CO₂eq).

Methane emissions by sector, Brazil, 2019

Methane (CH₄) emissions are measured in tonnes of carbon dioxide-equivalents.

Our World
in Data



Source: Our World in Data based on Climate Analysis Indicators Tool (CAIT).
OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions • CC BY

Figura 10 - O gráfico mostra a quantidade de emissão do gás Metano (CH₄) em equivalente de carbono (CO₂eq) nos diferentes setores no ano de 2019 no Brasil (RITCHIE, 2022).

Já a estudo do Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG) de 2020, feita pelo Observatório do Clima com a ajuda das organizações IMAFLORA, IPAM, ICLEI e IEMA repassa informações um pouco diferentes das usadas para comparativos mundiais. Isso ocorre pois o SEEG reporta as emissões líquidas, que são a métrica adotada pelo governo federal, mas prefere, por padrão, expressar os dados nacionais em emissões brutas.

De acordo com o SEEG (2020), no ano de 2019 o setor agropecuário foi o responsável por emitir 598,7 milhões de toneladas de CO₂eq, sendo 61.1% relacionado à fermentação entérica, 32.2% de manejo do solo. Também foi contabilizada nestes dados referentes ao setor de agricultura a calagem, antes estabelecida no setor de mudança de uso da terra, sendo somada às emissões da agropecuária no Quarto Inventário Nacional, alterações que foram adotadas pelo SEEG, no subsetor de solos manejados. Os outros subsectores, como o cultivo de arroz irrigado, queima de resíduos agrícolas e manejo de dejetos animais em especial da

palha da cana-de-açúcar, são responsáveis pelos 6,7% restantes das emissões nacionais do setor de agropecuária para 2019.

O setor de Mudanças do uso da terra e floresta apresenta diferenças de dados entre o SEEG e o Our World in Data. Isso ocorre pois SEEG dá prioridade às emissões brutas, tornando este setor o principal emissor GEE no país. Em relação às emissões líquidas, é responsável por 363 milhões de toneladas de CO₂e e 968 milhões de toneladas de emissões brutas em 2019. A maioria das emissões brutas (93%) é causada por mudanças de uso da terra, com 87% (841 MtCO₂e) destas emissões vindo do desmatamento da Amazônia (SEEG, 2019).

As fontes de remoção de carbono no setor agropecuário (florestas plantadas, pastos bem manejados, lavouras sob sistema de plantio direto e sistemas integrados Lavoura-Pecuária-Floresta) também é comparada com às fontes emissoras (pastos degradados e lavouras sob sistema de plantio convencional), como mostra na Figura 11. Nesta comparação, nota-se um aumento de 1% de 2018 para 2019. Essa diminuição na remoção de carbono foi ocasionada devido a elevação das emissões vindas de lavouras sob sistema de plantio convencional e pastos degradados, de 0.4% e 3.8%.

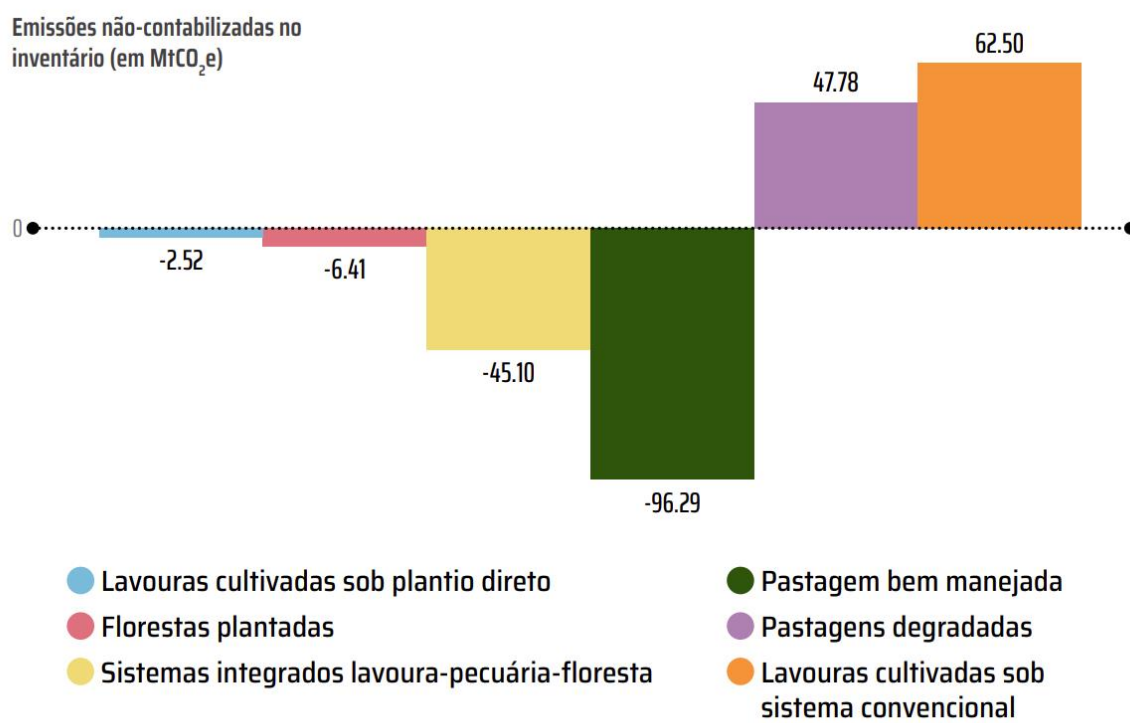


Figura 11 – Balanço das fontes de emissão e remoção para o cálculo da quantidade de carbono no solo em 2019 (SEEG, 2019).

6 CONCLUSÕES

Conclui-se portanto que o aquecimento global persiste avançando e possui consequências diretas na agricultura, como citado por Assis (2021). Com o aumento da temperatura global haverá uma maior dificuldade na previsibilidade do clima e serão necessárias novas adaptações ambientais e geográficas para o plantio de algumas culturas. Isso aliado ao grande aumento da demanda de alimentos prevista para os próximos anos poderá trazer grandes dificuldades, tanto na disponibilização dessa demanda, como nas práticas de redução das emissões.

A análise revelou também que as emissões de gases estufa estão relacionadas ao Produto Interno Bruto (PIB) dos países. Isso é evidente ao observarmos os EUA e a China, que possuem os maiores PIBs do mundo e são os maiores emissores de GEE.

O Brasil ocupa a sétima posição entre as regiões com maior emissão. No entanto, ao contrário de outros países, tem uma emissão significativamente maior quando se somam os setores de agropecuária e mudanças no uso da terra e floresta. Isso é principalmente devido ao fato de que o setor de mudanças no uso da terra e floresta ser amplamente visto como um sumudouro em outros países, enquanto no Brasil é o setor com a maior emissão bruta..

Quando se trata de reduzir as emissões na agricultura, estratégias como florestas plantadas, lavouras sob sistema de plantio direto, pastos bem gerenciados e sistemas integrados têm resultados positivos na mitigação dos gases, mas para alcançar resultados ainda maiores, é preciso reduzir as fontes emissoras como lavouras sob sistema de plantio convencional e pastos degradados, que ainda estão em crescimento.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. F. M. de; CARNEIRO, C. D. R. Geleiras no Brasil. **Ciência Hoje**, v. 19, n. 112, p. 24-31, 1995.

ALBUQUERQUE, A.; COSTA, J.; SARAIVA J.; LIÇA J. Ambiente e recursos naturais. In Alterações Climáticas – Boas Práticas de Engenharia. **Ordem dos Engenheiros**, Lisboa, Portugal, Tema 5, p. 106-136, 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.6/12293> Acesso em: 14 out. 2022

ARTAXO, P. As três emergências que nossa sociedade enfrenta: saúde, biodiversidade e mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, [S. l.], v. 34, n. 100, p. 53-66, 2020. DOI: 10.1590/s0103-4014.2020.34100.005. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/178752>. Acesso em: 09 nov. 2022.

ASSIS, E.; ZAMPIERI, H. **Os impactos das mudanças climáticas na agropecuária brasileira de 2015 a 2020**. 2021. 19 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciências econômicas) - Repositório Universitário da Ânima. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/20655>. Acesso em: 06 nov. 2022.

AUBERTIN, C; JESUS, L. M. K de. A contribuição do Brasil na COP21: o agronegócio do futuro. Revista Terceira Margem Amazônia. v. 6, n. especial 16, p. 35-52, 2021. Disponível em <http://dx.doi.org/10.36882/2525-4812.2021v6i16.ed.esp.p35-52> Acesso em 26 out. 2022.

BAYER, C., et al. A seven-year study on the effects of fall soil tillage on yield-scaled greenhouse gas emission from flood irrigated rice in a humid subtropical climate. **Soil and Tillage Research**, v. 145, p. 118-125, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198714001809>. Acesso em 10 out. 2022.

BERTOLAMI, O.; FRANCISCO, F. Alterações climáticas e o sistema terrestre. Revista de Ciência Elementar. v. 8, n. 4, p. 1-6, dezembro, 2020. Disponível em: <https://rce.casadasciencias.org/rceapp/art/2020/051/>. Acesso em 14 nov. 2022.

BRASIL. Brazil's 2nd National Communication to the Framework Convention of the United Nations on Climate Changes. **Ministério da Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 1, p. 222–223. 2010. Disponível em: https://www.adaptation-undp.org/sites/default/files/downloads/brazil-second_national_communication_exec_sum..pdf. Acesso em: 10 out. 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária, com vistas ao Desenvolvimento Sustentável / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação. – Brasília: MAPA, 2021.

CASAGRANDE, A.; SILVA JÚNIOR, P.; MENDONÇA, F. A. Mudanças climáticas e aquecimento global: controvérsias, incertezas e a divulgação científica. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. l.], v. 8, 2021. Disponível em:

<https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/13593>. Acesso em: 9 set. 2022.

CINTRA, P. H. N.; MELO, O. F. P.; MENEZES, J. O. S. Produção agrícola: Uma revisão bibliográfica sobre as mudanças climáticas e produtividade de plantas graníferas no Brasil. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v.11, n.1, p.87-94, 2020.

DIAS, T. A. C. **Avaliação da disponibilidade de terras e do potencial bioenergético em 2050 considerando os limites da segurança alimentar**. 2021. 76 f. Programa de Pós-Graduação: Mestrado (Engenharia de Energia) - Repositório UNIFEI. Disponível em:

<https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/handle/123456789/2509>. Acesso em: 23 out. 2022.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Sources of Greenhouse Gas Emissions**. United States: 5 ago. 2022. Disponível em:

<https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions#agriculture>. Acesso em: 11 nov. 2022.

EILLS, A. **A Year in Syntropy: Exploring Syntropic Agriculture**. 2021. 107 f. Tese (Doutorado) - Sustainability Commons, Biologia, College Of The Holy Cross, Worcester, 2021. Disponível em: <https://crossworks.holycross.edu/honors/23/>. Acesso em: 22 set. 2022.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA. **Evolução da área cultivada no sistema de plantio direto na palha-Brasil**, [201-?]. Disponível em: <https://febrapdp.org.br>. Acesso em: 09 out. 2022.

FERNANDES, T.; INOUE, M. H.; FERNANDES, T. Low Carbon Agriculture Plan (ABC): a bibliometric review focused on the state of Mato Grosso, Brazil. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 8, n. 8, p. e44881253, 2019. DOI: 10.33448/rsd-v8i8.1253. Disponível em:

<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/1253>. Acesso em: 27 sep. 2022.

FLAMMINI, A. et al. Emissões de gases de efeito estufa de uso de energia na agricultura, silvicultura e pesca: 1970-2019, **Earth Syst. Sci. Data**, n. 14, p. 811-821. 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.5194/essd-14-811-2022>>. Acesso em 15 nov. 2022.

FREITAS, E. V.; MACIEL, G. A.; CARVALHO, E. X. Agricultura de baixo carbono. In: Fernandes, J. G. et al. **Desenvolvimento sustentável a agropecuária de Pernambuco [livro eletrônico]** – Recife: Instituto Agronômico de Pernambuco – IPA, 2022. 236 p. 35 – 64. Disponível em: <http://www.ipa.br>. Acesso em: 29 set. 2022.

GARCIA, E. A. B. **Estimativa do fluxo de CO₂ na camada limite da atmosfera sobre a RDS Uatumã/AM-Brasil por meio de imagens orbitais e dados micrometeorológicos**. 2020. 146 f. Programa de Pós-graduação (Geografia) -

Repositório UFU. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/30549>
Acesso em: 29 set. 2022.

GATELLI, V. M. **Agricultura sintrópica como medida mitigadora dos impactos da emergência climática**. 2022. 43 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2022.

GHELLER, D. G.; GAZOLLA, M.; MARINI, M. J. Políticas públicas de mitigação da emissão de gases de efeito estufa na agricultura: uma análise do programa abc. **Informe GEPEC**, [S. l.], v. 23, n. 1, p. 93–111, 2019. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/gepec/article/view/19703>. Acesso em: 13 set. 2022.

GIANETTI, G. W.; FERREIRA, J. B. S. O Plano e Programa ABC: uma análise da alocação dos recursos. **Revista de Economia e Sociologia Rural**. 2021, v. 59, n. 1. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.216524>. Acesso em: 27 set. 2022.

GOMES, V. E. V.; et al. Fatores determinantes do valor dos contratos do programa Agricultura de Baixo Carbono (ABC). **Revista Ciência e Sustentabilidade – CeS**. v. 4, n. 2, p. 46-68, jul./dez. 2018. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/51337/1/2018_art_rcparaujofatores.pdf. Acesso em: 27 set. 2022.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Monitoramento do território: mudanças climáticas**. Divisão de Impactos, Adaptação e Vulnerabilidades. 2020. Disponível em: <http://www.ccst.inpe.br/>. Acesso em: 08 set. 2022.

IPCC. **About the IPCC: The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) is the United Nations body for assessing the science related to climate change**. 2022. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/about/>. Acesso em: 14 nov. 2022.

JUNGES, A. L. et al. Efeito estufa e o aquecimento global: uma abordagem conceitual a partir da física para a educação básica. **Experiências em Ensino de Ciências** v.13, n.5, p. 126-151. 2018. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/194261/001085731.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 14 nov. 2022.

KICHEL, A. N.; BUNGENSTAB, D. J.; ZIMMER, A. H.; SOARES, C. O.; ALMEIDA, R. G. de. Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta e o progresso do setor agropecuário brasileiro. In: BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G. de; LAURA, V. A.; BALBINO, L. C.; FERREIRA, A. D. (Ed.). **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 49-58. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/202702/1/Sistema-de-integracao-lavoura-pecuaria-floresta.pdf>. Acesso em: 08 out. 2022.

LAL, R. Beyond COP 21: potential and challenges of the. *Journal Of Soil And Water Conservation*. **Soil and Water Conservation Society**. v. 71, n. 1, p. 20-25, 1 jan. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2489/jswc.71.1.20a>. Acesso em: 20 set. 2022.

LARSEN, K. et al. China's Greenhouse gas emissions exceeded the developed world for the first time in 2019. **Rhodium Group**: New York, NY, USA, 2021. Disponível em:

<http://www.indiaenvironmentportal.org.in/files/file/china%20greenhouse%20gas%20emissions.pdf>. Acesso em 15 nov. 2022.

LIMA, M. A.; de VIEIRA, R. F.; LUIZ, A. J. B.; GALVAO, J. A. H. Emissão de metano em cultivo de arroz irrigado sob sistema pré-germinado. **Infoteca-e**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2021. 26p. Disponível em:

<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1135994>. Acesso em: 16 set de 2022.

LOPES, G. M. B.; LACERDA, F. F. Produção sustentável e mudanças climáticas. In: Fernandes, J. G. et al. **Desenvolvimento sustentável a agropecuária de Pernambuco [livro eletrônico]** – Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, 2022. 236 p. 13 – 34. Disponível em: <http://www.ipa.br>. Acesso em: 29 set. 2022.

MABONI, C. **Fluxo de metano no bioma pampa: análises em áreas de arroz e pecuária**. 2021. 88 p. Tese (Doutorado em Física, Área de Concentração em Áreas Clássicas da Fenomenologia e Suas Aplicações) - Universidade Federal de Santa Maria, Rio grande do Sul, 2021.

MANZATTO, C. V. et al. Contribuição do plantio direto para a mitigação e a adaptação às mudanças climáticas. **Agroanalysis**. v. 39, n. 12, p 26-2, dez. 2019. Disponível em:

<https://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/agroanalysis/article/view/80850/77189>. Acesso em: 08 out. 2022.

MANZATTO, C. V. et al. **Mitigação das emissões de gases de efeitos estufa pela adoção das tecnologias do Plano ABC: estimativas parciais**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 35p. 2020. Disponível em:

<https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/>. Acesso em: 08 out. 2022.

MARENGO, J. A.; SOUZA JR, C. **Mudanças Climáticas: impactos e cenários para a Amazônia**. São Paulo: ALANA, 2018. Disponível em: <

https://www.oamanhae hoje.com.br/assets/pdf/Relatorio_Mudancas_Climaticas-Amazonia.pdf>. Acesso em 10 out. 2022.

MENEZES, I. Plano ABC: segunda etapa do programa começa em setembro de 2022. **Sensix**, 19 set. 2022. Disponível em: <https://blog.sensix.ag/plano-abc-segunda-etapa-do-programa-comeca-em-setembro-de-2022/>. Acesso em: 15 nov. 2022.

MIKHAYLOV, A.; MOISEEV, N.; ALESHIN, K.; BURKHARDT, T. Global climate change and greenhouse effect. **Entrepreneurship and Sustainability Issues**, v. 7, n. 4, p. 2897-2913, jun. 2020. Disponível em:

https://www.researchgate.net/profile/Alexey-Mikhaylov/publication/342372335_Global_climate_change_and_greenhouse_effect/li

nks/5f576af2299bf13a31ab136c/Global-climate-change-and-greenhouse-effect.pdf. Acesso em: 10 nov. 2022.

MOLION, Luiz Carlos Baldicero. Desmistificando o aquecimento global. **Intergeo**, v. 5, p. 13-20, 2007. Disponível em: https://icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/molion_desmist.pdf. Acesso em: 10 out. 2022.

MOREIRA, A. T. R.; SANTOS, E. C.; NOBREGA, G. T.; et al. O impacto da ação antrópica no meio ambiente: aquecimento global. **Revista Educação em Foco**. n.14. p. 22-27. 2022. Disponível em: <https://portal.unisepe.com.br/unifia/wp-content/uploads/sites/10001/2022/06/O-IMPACTO-DA-AÇÃO-ANTRÓPICA-NO-MEIO-AMBIENTE-AQUECIMENTO-GLOBAL-pág-22-a-27.pdf>. Acesso em: 10 set. 2022.

MOTA, J. S. Aquecimento Global por um Ótica Assertiva In: **Revista Digital Simonsen**, Nº 9, Dezembro. 2018. Disponível em: www.simonsen.br/revistasimonsen. Acesso em: 08 set. 2022.

NOLÊTO, D. H.; ANDRADE JUNIOR, A. S.; BRAGA, D. L.; MOTA, P. R. D.; RIBEIRO, V. Q. **Crescimento de cana-de-açúcar (2ª soca) sob diferentes níveis de fertirrigação nitrogenada**. Anais: XL Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola -CONBEA. Cuiabá -MT, Brasil, 2011.

NAÇÕES UNIDAS. **ONU revela aumento "impressionante" de emergências climáticas em 20 anos**, 2020. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2020/10/1729332>. Acesso em: 06 nov. 2022.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS DO CLIMA – IPCC. **AR4 Climate Change 2007: Synthesis Report**. 2007. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar4/syr/>. Acesso em 12 set. 2022.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS DO CLIMA – IPCC. **Fifth Assessment Report: AR5**. 2014. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/>. Acesso em 12 set. 2022.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS DO CLIMA – IPCC. **Sixth Assessment Report: AR6. 2021**. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>. Acesso em 12 set. 2022.

PEGUIM, C. N. Estado, desenvolvimento sustentável e governança no Brasil: políticas públicas para energia e água pós Rio-92. **Esboços**, Florianópolis, v. 27, n. 44, p. 78-93, jan./ abr. 2020. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/5940/594064383006/594064383006.pdf> Acesso em: 02 out. 2022.

PINA, M. D. de. **Análise e tomada de decisão para avaliação de locais de produção de energia de biomassa com cana-de-açúcar no estado de Goiás**. 84 p. Monografia (Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura) - Instituto

Federal de Goiás - IFG, Goiânia, 2021. Disponível em:
<http://repositorio.ifg.edu.br:8080/handle/prefix/813> Acesso em: 02 nov. 2022.

PINÊ, R. E. L.; PINHEIRO, R. S. B.; CHADOUTEAUD, L. M. L.; AMÉRICO, G. H. P. Mudanças climáticas: o efeito estufa e a produção agrícola. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 7, n. 9, dez. 2014, p. 51-61.

PORTELA, M. G. T.; LEITE, L. F. C. Emissões de gee pela agricultura: o caso dos cultivos de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. l.], v. 18, 2021. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/13891>. Acesso em: 16 set. 2022.

RITCHIE, H.; ROSER, M. China: CO2 country profile. Our World in Data, 2022. Disponível em: <https://ourworldindata.org/co2/country/china>. Acesso em: 15 nov. 2022.

ROCHA, W. M. **“Da belle-epoque à bréa-epoque”: Relações Internacionais e a governança das mudanças climáticas na Amazônia: um diálogo entre o público, o privado e o internacional no desenvolvimento sustentável dos Estados do Pará e do Amazonas**. Tese (Doutorado em Relações Internacionais) - Universidade de Brasília 2019. Disponível em:
 <<https://repositorio.unb.br/handle/10482/37013>>. Acesso em: 08 out. 2022.

ROCHA, V. M. Um breve comentário a respeito do IPCC AR6. **Revista Entre-Lugar**, [S. l.], v. 12, n. 24, p. 396–403, 2021. Disponível em:
<https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/entre-lugar/article/view/15253>. Acesso em: 9 set. 2022.

ROSA, T. J. D. E. **Estudo da viabilidade econômica de geração de energia em pequena escala no setor agrocafeeiro**. 2021. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, 2021. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/26134> Acesso em: 29 set. 2022.

SABRY, F. Agricultura Vertical: Como devemos alimentar mais três bilhões de pessoas. **Um bilhão bem informado**, 2021.

SANTOS, B. P. dos.; SIQUEIRA, R. A. G.; VILLAR, J. A. de A.; FREITAS, M. A. V. Agricultura e Irrigação no Brasil no cenário das Mudanças Climáticas. **Revista de Tecnologia & Gestão Sustentável**, [S. l.], v. 1, n. 2, 2022. Disponível em:
<https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/rtgs/article/view/3158>. Acesso em: 9 set. 2022.

SEEG. Análise das emissões brasileiras de gases do efeito estufa e suas implicações para as metas de clima do Brasil. 2020. Disponível em:
<http://energiaeambiente.org.br/produto/analise-das-emissoes-brasileiras-de-gases-de-efeito-estufa-2020>. Acesso em: 15 nov. 2022.

SILVA, F. P.; FILHO, J. E. R. V. **Avaliação de impacto do programa de agricultura de baixo carbono no Brasil**. Brasília: Ipea. 2020. 40 p. (Texto para

Discussão n. 2568). Disponível em: <
<http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/10101>>. Acesso em: 27 set. 2022.

SILVA, R. W. C., PAULA B. L. Causa do aquecimento global: antropogênica versus natural. **Terræ Didática**, 5(1), p. 42-49. 2009. Disponível em: <
https://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/v5/pdf-v5/TD_V-a4.pdf>. Acesso em: 12 set. 2022

SONG, W., et al. Methane emissions from an alpine wetland on the Tibetan Plateau: Neglected but vital contribution of the nongrowing season. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 120, p. 1475-1490, 2015. Disponível em: <
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2015JG003043>>. Acesso em 10 out. 2022.

SOUSA, M. P.; PIRES, A. J. V.; SILVEIRA, R. B.; PUBLIO, P. P. P.; FIGUEIREDO, G. C.; CRUZ, N. T. Crop, Livestock and Forestry Integration Systems. **Brazilian Journal of Science**, [S. l.], v. 1, n. 10, p. 53–63, 2022. Disponível em:
 <<https://bjs.emnuvens.com.br/revista/article/view/153>>. Acesso em: 4 out. 2022.

SOUZA NETO, E. R. de.

Fluxo de óxido, metano e dióxido de carbono a partir de solo cultivado com cana de açúcar sob diversos tratos culturais. Tese (Doutorado em ciências) -Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo, 2012.

SPIRANDELI, V. B. **Relações internacionais, tecnologias para redução dos impactos climáticos e soluções baseadas na natureza.** 2022. 76 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Relações Internacionais) – Instituto de Economia da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022.

STUBBS, M. **Greenhouse gas emissions and sinks in U.S. agriculture.** Congressional Research Service. 2022. Disponível em:
 <<https://sgp.fas.org/crs/misc/IF11404.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2022.

TAVARES, N. R.; NOVAIS, J. “VOCÊ JÁ ESTUDOU SOBRE AQUECIMENTO GLOBAL NA ESCOLA?": CONTRAPONTO DE ESTUDANTES AMAZÔNIDAS DO CAMPO E DA CIDADE. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 4, n. 2, 22 abr. 2021. Disponível em:
<http://seer.upf.br/index.php/rbecm/article/view/10790> Acesso em: 20 out. 2022.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Emissions Gap Report 2022: The Closing Window — Climate crisis calls for rapid transformation of societies.** 2022 Nairobi. Disponível em: <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2022>. Acesso em: 13 nov. 2022.

VASCONCELOS, A. L. S.; PIRES, I. C. G.; FERRÃO, G. E.; SIQUEIRA NETO, M. Agricultura e gases de efeito estufa - estudos de casos no Brasil. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, [S. l.], v. 10, n. 2, 2019. Disponível em:

<https://periodicoseletronicos.ufma.br/index.php/ccaatropica/article/view/5656>. Acesso em: 13 set. 2022.

VIEIRA, C. F. A.; DE LIMA, L. C.; COUTINHO, M. M.; CAVALCANTE, F. S. A. Efeitos climáticos do metano na atmosfera. **Revista Tecnologia**, [S. l.], v. 29, n. 1, 2009. Disponível em: <https://ojs.unifor.br/tec/article/view/46>. Acesso em: 14 nov. 2022.

WORLD RESOURCES INSTITUTE. Climawatch: Historical GHG Emissions, 2016. **Global environment facility**. Safeguarding the Global commons: The Seventh Replenishment of the global Environment Facility. Washington, 2019. Disponível em: <https://www.thegef.org/sites/default/files/publications/GEF_safeguarding_global_commons_May2019_CRA.pdf>. Acesso em: 08 out. 2022.