



GEORGIA ALVES DA SILVA

**CONTRIBUIÇÃO SOBRE O INVENTÁRIO DE
EMISSIONES DE GEE E AÇÕES PARA
SUSTENTABILIDADE NA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS
AGRÍCOLAS**

CATALÃO (GO)

2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CATALÃO

FACULDADE DE ENGENHARIA

Av. Dr. Lamartine Pinto de Avelar, número 1120, - Bairro Setor Universitário, Catalão/GO, CEP 75704-020
Telefone: - - <https://www.ufcat.edu.br>

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA)

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DE TESES E DISSERTAÇÕES DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CATALÃO (UFCAT)

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Catalão (UFCAT) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFCAT), sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei 9.610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFCAT é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o(a) autor(a) e o(a) orientador(a) Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação ou Tese?

Dissertação

2. Nome completo do autor: **GEORGIA ALVES DA SILVA**

Nome completo do(a) orientador(a): **Antonio Nilson Zamunér Filho**

3. Título do trabalho

Título: **CONTRIBUIÇÃO SOBRE O INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GEE E AÇÕES PARA SUSTENTABILIDADE NA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS**

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento: [**X**] SIM [] NÃO¹

[¹] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

a) consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);

b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs.: Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor



Documento assinado eletronicamente por **ANTONIO NILSON ZAMUNER FILHO, Orientador(a)**, em 27/10/2025, às 16:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Georgia Alves Da Silva, Usuário Externo**, em 27/10/2025, às 20:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufcat.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0256715** e o código CRC **B4FB2A3A**.

GEORGIA ALVES DA SILVA

**CONTRIBUIÇÃO SOBRE O INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE
GEE E AÇÕES PARA SUSTENTABILIDADE NA INDÚSTRIA
DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, da Faculdade de Engenharia, da Universidade Federal de Catalão (UFCAT), como parte dos requisitos para obtenção do título de **MESTRA EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**. Área de Concentração: Engenharia de Operações e Processos Industriais. Linha de Pesquisa: Engenharia e Desenvolvimento de Produtos e Processos.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Nilson Zamunér Filho

CATALÃO (GO)

2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFCAT.

Silva, Georgia Alves da

Contribuição sobre o inventário de emissões de GEE e ações para
sustentabilidade na indústria de máquinas agrícolas / Georgia Alves
da Silva. - 2025.

98 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Nilson Zamunér Filho.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Catalão,
Faculdade de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção, Catalão, 2025.

Bibliografia. Anexos.

Inclui siglas, abreviaturas, gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de
tabelas.

1. Gases de Efeito Estufa. 2. GHG Protocol. 3. Sustentabilidade. 4.
Indústria de máquinas agrícolas. 5. Sistema de gestão ambiental. I.
Zamunér Filho, Antonio Nilson, orient. II. Título.

CDU 658.5

ATA DE DEFESA DE TESE

Ata nº **46** de 2025 da sessão de Defesa de Dissertação de **GEORGIA ALVES DA SILVA**, que confere o título de Mestre em Engenharia de Produção,

Aos vigésimo sexto dia do mês de setembro de dois mil e vinte e cinco, a partir das 10:50 horas, na sala virtual do Google Meet, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada: **“INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GEE E AÇÕES PARA SUSTENTABILIDADE NA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS”**. Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, **Professor Doutor Antonio Nilson Zamunér Filho (PPGEP/UFCAT)**, com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: **Professor Doutor DEIVID MARQUES NUNES (PPGEP/UFCAT)**, membro titular interno; **Professor Doutor WELLINGTON ANDRADE DA SILVA (PPGEC/UFCAT)**, membro titular externo. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido a candidata **APROVADA** pelos seus membros.

Proclamados os resultados pelo **Professor Doutor Antonio Nilson Zamunér Filho**, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA: CONTRIBUIÇÃO SOBRE O INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GEE E AÇÕES PARA SUSTENTABILIDADE NA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS



Documento assinado eletronicamente por **ANTONIO NILSON ZAMUNER FILHO, Orientador(a)**, em 26/09/2025, às 13:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **DEIVID MARQUES NUNES, Professor(a) do Magistério Superior**, em 26/09/2025, às 13:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **WELLINGTON ANDRADE DA SILVA, Professor(a) do Magistério Superior**, em 26/09/2025, às 13:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufcat.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0243542** e o código CRC **673781DA**.

SILVA, G. A. **Contribuição sobre o inventário de emissões de GEE e ações para sustentabilidade na indústria de máquinas agrícolas.** 100p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Catalão, Catalão, GO. 2025.

RESUMO

Este estudo investigou a crescente demanda por sustentabilidade nas operações industriais, aplicando o GHG Protocol para quantificar e mitigar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) em uma indústria de máquinas agrícolas. O objetivo central foi mensurar as emissões nos escopos 1 e 2, identificar suas principais fontes e propor estratégias para reduzir o impacto ambiental, alinhando as operações aos compromissos globais de sustentabilidade. Além disso, buscou-se desenvolver práticas de mitigação eficazes, considerando os efeitos das atividades industriais sobre as mudanças climáticas. A metodologia concentrou-se na quantificação das emissões diretas (escopo 1) e indiretas (escopo 2), com ênfase no consumo de energia elétrica. O inventário revelou que o gás liquefeito de petróleo (GLP) foi a principal fonte de emissões, representando 47% do total, seguido pela eletricidade (36%). Em menor escala, também foram identificados gases como R134-a e Rubilene. Com base nesses resultados, propôs-se a substituição parcial do GLP por biomassa, alternativa de menor impacto ambiental, com potencial de reduzir em até 43% as emissões provenientes do GLP, o equivalente a aproximadamente 1.153 toneladas de CO₂e. O estudo ainda recomendou a ampliação do uso de fontes renováveis e a adoção de práticas mais eficientes de consumo energético. Por fim, reforçou-se a relevância de alinhar as operações industriais a padrões internacionais, como o GHG Protocol e as metas do Acordo de Paris, fortalecendo a transparência, a eficiência e o compromisso com a mitigação dos impactos climáticos globais.

Palavras-chave: Gases de Efeito Estufa, GHG Protocol, Sustentabilidade, Indústria de Máquinas Agrícolas, Sistema de Gestão Ambiental.

SILVA, G. A. **Contribution to the Greenhouse Gas Emissions inventory and sustainability actions in the agricultural machinery industry**. 100p. Master's Dissertation. Federal University of Catalão, Catalão, GO. 2025.

ABSTRACT

This study investigated the growing demand for sustainability in industrial operations, applying the GHG Protocol to quantify and mitigate greenhouse gas (GHG) emissions in an agricultural machinery industry. The main objective was to measure emissions in scopes 1 and 2, identify their primary sources, and propose strategies to reduce environmental impacts, aligning operations with global sustainability commitments. In addition, the study aimed to develop effective mitigation practices, considering the effects of industrial activities on climate change. The methodology focused on the quantification of direct (scope 1) and indirect (scope 2) emissions, with emphasis on electricity consumption. The inventory revealed that liquefied petroleum gas (LPG) was the main source of emissions, accounting for 47% of the total, followed by electricity (36%). On a smaller scale, gases such as R134-a and Rubilene were also identified. Based on these results, the study proposed the partial replacement of LPG with biomass, a lower-impact alternative, with the potential to reduce up to 43% of LPG-related emissions, equivalent to approximately 1,153 tons of CO₂e. The study also recommended expanding the use of renewable energy sources and adopting more efficient energy consumption practices. Finally, the study reinforced the importance of aligning industrial operations with international standards, such as the GHG Protocol and the Paris Agreement targets, strengthening transparency, efficiency, and the commitment to mitigating global climate impacts.

Keywords: Greenhouse Gases, GHG Protocol, Sustainability, Agricultural Machinery Industry, Environmental Management System.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Temperaturas médias globais	28
Figura 2 – Anomalia de temperatura global.....	29
Figura 3 – Índice global da temperatura terra -oceano.....	34
Figura 4 – Evolução do número de downloads da ferramenta do Programa por ano	40
Figura 5 –Princípios gerais enunciados pelo IPCC, GHG Protocol e na ABNT NBR ISO 14.064-1.....	45
Figura 6 – Porcentagem de emissões de GEE, provenientes ao gás HFC R134-a ano de 2021.....	67
Figura 7 – Porcentagem de emissões de GEE, provenientes ao Rubilene ano de 2021.....	68
Figura 8 – Porcentagem de emissões de GEE, provenientes ao Biodiesel no ano de 2021.....	69
Figura 9 – Porcentagem de emissões de GEE, provenientes ao GLP no ano de 2021.....	70
Figura 10 – Porcentagem de emissões de GEE, provenientes ao consumo de Energia elétrica no ano de 2021	71
Figura 11 – Porcentagem de emissões de GEE – Escopo 1 e 2 de 2021.....	71
Figura 12 – Porcentagem de emissões de GEE, provenientes ao gás HFC R134-a ano de 2022.....	74
Figura 13 – Porcentagem de emissões de GEE, provenientes ao Rubilene ano de 2022.....	75
Figura 14 – Porcentagem de emissões de GEE, provenientes ao Biodiesel no ano de 2022.....	75
Figura 15 – Porcentagem de emissões de GEE, provenientes ao GLP no ano de 2022.....	76
Figura 16 – Porcentagem de emissões de GEE – Escopo 1 e 2 de 2022.....	76
Figura 17 – Porcentagem de emissões de GEE – Escopo 1 de 2022.....	77
Figura 18 – Porcentagem de emissões de GEE, provenientes ao gás HFC R134-a ano de 2023.....	80
Figura 19 – Porcentagem de emissões de GEE, provenientes do ano de 2023....	80

Figura 20 – Porcentagem de emissões de GEE, provenientes ao Biodiesel no ano de 2023.....	81
Figura 21 – Porcentagem de emissões de GEE, provenientes ao GLP no ano de 2023.....	82
Figura 22 – Porcentagem de emissões de GEE – Escopo 1 e 2 de 2023.....	83
Figura 23 – Porcentagem de emissões de GEE – Escopo 1 de 2023.....	83
Figura 24 – Gráfico cronológico de emissões GEE de 2021,2022 e 2023.....	84
Figura 25 - Redução de emissão GEE, provenientes ao GLP.....	85
Figura 26 - Estatísticas Emissões Hyundai Motor Brasil Escopo 1 e 2 de 2023.....	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fatores de emissão de queima de óleo diesel (kgCO ₂ /L)	62
Tabela 2 – Tabela com os valores do GWP dos gases de efeito estufa, segundo o AR5 (IPCC).....	64
Tabela 3 - Fatores de Emissão de Gases não-CO ₂ no Setor Industrial – consolidação.....	65
Tabela 4 – Distribuição mensal do consumo dos fatores de emissão de GEE – Ano de aumento produtivo (2021)	67
Tabela 5 – Distribuição mensal do consumo dos fatores de emissão de GEE – Ano de aumento produtivo (2022)	73
Tabela 6 – Distribuição mensal do consumo dos fatores de emissão de GEE – Ano de aumento produtivo 2023	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas;
CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior;
CH₄ - Metano;
CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico;
CO₂ - Dióxido de Carbono;
CO₂e - Dióxido de Carbono Equivalente;
CQNUAC - Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas;
EPE - Empresa de Pesquisa Energética;
ESG - *Environmental, Social, and Governance*;
GEE - Gases de Efeito Estufa;
GHG - *Greenhouse Gas* (Protocolo GHG);
GLP - Gás Liquefeito de Petróleo;
HFC - Hidrofluorcarbono;
IBGE - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*;
ISO - *International Organization for Standardization*;
N₂O - Óxido Nitroso;
NDC - Contribuições Nacionalmente Determinadas;
PFC - Perfluorocarbono;
SEI - Sistema Eletrônico de Informação;
SF₆ - Hexafluoreto de Enxofre;
SGA - Sistema de Gestão Ambiental;
WBCSD - *World Business Council for Sustainable Development*;
WRI - *World Resources Institute*.

SUMÁRIO

1. CAPÍTULO 1.....	18
1.1. INTRODUÇÃO	18
1.2 Objetivo	22
1.2.1. Objetivo Geral	22
1.2.2. Objetivos Específicos	22
1.3. Justificativa	23
2. CAPÍTULO 2.....	25
2.1. REVISÃO DE LITERATURA	25
2.1.1. Gases de efeito estufa	25
2.1.1.1. Aquecimento global e gases de efeito estufa.....	27
2.1.1.2. Mudanças climáticas	33
2.1.1.3. Aquecimento global no Brasil	36
2.1.2. Programa Brasileiro de GHG Protocol - Emissões de gases de efeito estufa.....	38
2.1.2.1. GHG Protocol Escopos 1, 2 e 3.....	40
2.1.2.2. Normas e Parâmetros do Programa Brasileiro de GHG Protocol.....	42
2.1.2.3. Definir os limites operacionais e organizacionais do inventário	46
2.1.3. A economia interligada com o aquecimento global: desafios e oportunidades	47
2.1.3.1. Acordo de Paris 2015 no Brasil	51
2.1.4. Indústrias no Brasil e a preocupação nas emissões de gases de efeito estufa ...	52
2.1.4.1. Emissões de gases de efeito estufa na indústria automobilística.....	55
2.1.4.2. Energia da biomassa	56
3. CAPÍTULO 3.....	58
3.1. METODOLOGIA.....	58
3.1.1. Estudo de caso	58
3.1.2. Metodologia para elaboração do inventário.....	59
3.1.2.1. Limites organizacionais e operacionais	60
3.1.3. Método de cálculo.....	61
3.1.3.1. Cálculo do consumo do óleo diesel emissão de CO ₂	62
3.1.3.2. Cálculo do consumo de energia elétrica e emissão de CO ₂	62
3.1.3.3. O dióxido de carbono equivalente (CO ₂ e).....	63
4. CAPÍTULO 4.....	66
4.1. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	66
4.1.1. Emissões dos Gases de Efeito Estufa proveniente ao Escopo 1 e 2 de 2021 ano base para redução.....	66

4.1.2. Emissões dos Gases de Efeito Estufa provenientes ao Escopo 1 e 2 de 2022. ..	72
4.1.3. Emissões dos Gases de Efeito Estufa provenientes ao Escopo 1 e 2 de 2023. ..	78
4.1.4. Emissões dos Gases de Efeito Estufa provenientes ao Escopo 1 e 2 de 2021 a 2023.	84
4.1.5. Possível cenário de melhoria	84
4.1.6. Inventário em indústria automobilística comparativo	85
5. CAPÍTULO 5.....	88
5.1. CONCLUSÕES	88
6. REFERÊNCIAS	89

1. CAPÍTULO 1

1.1. INTRODUÇÃO

À medida que a questão climática ganha relevância na agenda política mundial, aumentam tanto as exigências legais quanto as pressões do mercado. Algumas empresas já estão se adiantando às possíveis regulamentações mais severas relacionadas às emissões de gases de efeito estufa (GEE). Diariamente, são divulgadas pela mídia informações sobre a situação ambiental global. Há plena consciência de diversos problemas que afetam negativamente a qualidade de vida da sociedade, como o desmatamento, a extinção de espécies vegetais e animais, o aumento da produção de resíduos e o agravamento do efeito estufa (BARON, 2024).

Atualmente, observam-se mudanças climáticas causadas principalmente pelas emissões de gases de efeito estufa (GEE) decorrentes das atividades industriais. O Programa Brasileiro de GHG Protocol é uma ferramenta essencial para medir com precisão os gases de efeito estufa, fornecendo às empresas dados cruciais para avaliar o impacto ambiental de suas operações. O inventário resultante combina parâmetros bem definidos com abordagens científicas e tecnológicas de medição, permitindo o desenvolvimento e análise dos dados coletados. Essa ferramenta promove transparência, compreensão e atenção às restrições operacionais de uma empresa, oferecendo uma visão clara dos cenários potenciais de impacto ambiental (SEPULVIDA, 2023).

Visto que a preocupação crescente com as mudanças climáticas tem levado organizações a adotarem medidas para mitigar os efeitos ambientais e promover a sustentabilidade, o GHG Protocol tem se destacado como uma ferramenta para medir e gerenciar os GEE.

Os gases de efeito estufa (GEE) são compostos que retêm o calor no sistema climático da Terra, provocando o efeito estufa. O principal GEE é o dióxido de carbono (CO_2), porém outros gases, como o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O), o hexafluoreto de enxofre (SF_6), os hidrofluorcarbonos (HFCs) e os perfluorcarbonos (PFCs), também contribuem para o aquecimento global. As emissões desses gases resultam de atividades humanas, como a queima de combustíveis fósseis em especial a queima de carvão mineral, que constitui uma fonte significativa de CO_2 , além de processos industriais, práticas agrícolas e mudanças no uso da terra (LUCON, 2022).

Desenvolvida em colaboração entre o *World Resources Institute* (WRI) e o Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (WBCSD), esta metodologia é um conjunto de diretrizes cuidadosamente elaborado e visa fornecer um sistema confiável e reconhecido internacionalmente para contabilizar as emissões de GEE, estabelecendo um padrão internacional (AIUTO; HUCKINS; MOMBLANCO, 2024).

De acordo com esta norma, uma organização utiliza uma abordagem consistente e transparente para monitorar as suas atividades relacionadas aos impactos ambientais. Esta permite que as empresas avaliem o seu desempenho ambiental e identifiquem oportunidades para reduzir as suas emissões de carbono. Ao adotar esta metodologia, as organizações podem monitorar, de forma mais eficaz, as operações e gerir proativamente o seu impacto ambiental. Além disso, aumenta a probabilidade de as empresas concretizarem oportunidades importantes para reduzir as emissões de GEE, contribuindo para uma perspectiva empresarial mais sustentável e responsável. O GHG Protocol pode ser dividido em três seções: o Escopo 1, que abrange as emissões diretas de GEE provenientes de fontes controladas pela organização (por exemplo, emissões provenientes de queima de combustíveis em suas instalações); o Escopo 2, que envolve as emissões indiretas decorrentes da aquisição de eletricidade, vapor, calor ou produzidos por terceiros; e o Escopo 3, que engloba as emissões indiretas resultantes de atividades que estão relacionadas à organização, mas que são de propriedade ou estão sob controle de terceiros (por exemplo, transporte de mercadorias e atividades de fornecedores).

O cálculo das emissões de GEE não apenas auxilia na gestão ambiental, mas também contribui para a redução dos riscos climáticos. Além disso, melhora a eficiência operacional e fortalece a resiliência das empresas diante dos desafios ambientais. O GHG Protocol é uma ferramenta para que as empresas enfrentem as mudanças climáticas. Sua ampla adoção por líderes do setor, bem como o reconhecimento por governos, reguladores e organizações internacionais, comprova a confiabilidade e estabilidade na medição das emissões de GEE. Ao seguirem o GHG Protocol, as empresas não apenas gerenciam suas emissões, mas também desempenham um papel significativo no combate às mudanças climáticas globais. O uso dessas diretrizes não só tornará sua organização mais sustentável, como também incentivará uma participação ativa na construção da resiliência climática e de um futuro mais justo (MARCIANO, 2024).

Seguir as orientações do GHG Protocol pode ajudar as organizações a identificarem oportunidades para reduzir as emissões de GEE em linha com os seus objetivos de redução. Esta abordagem proporciona uma visão sistemática e mensurável das emissões, permitindo práticas mais sustentáveis e responsáveis.

No relatório anual do programa brasileiro de GHG Protocol, Monzoni (2022) evidencia um impacto significativo na forma como as organizações lidam com as emissões de GEE.

Progressivamente, mais governos e empresas estão adotando essas diretrizes para quantificar e gerenciar suas emissões, impulsionando a transição para uma economia de baixo carbono. No futuro, espera-se que o GHG Protocol continue a evoluir, incorporando novas abordagens e orientações para abordar desafios emergentes, como a mensuração de emissões em setores específicos e a contabilização de outras formas de impacto climático, além do CO₂.

O mercado de carbono é considerado uma ferramenta para a mitigação das mudanças climáticas. Ele oferece um mecanismo econômico que permite a redução das emissões de GEE de maneira eficiente e flexível. Ao colocar um preço sobre as emissões, o mercado de carbono incentiva empresas e governos a adotarem práticas mais sustentáveis e investirem em tecnologias limpas (ALMEIDA, 2023).

A adoção do GHG Protocol pelas empresas no Brasil pode garantir transparência e responsabilidade ambiental, atendendo à crescente demanda de *stakeholders* por práticas sustentáveis. Além de preparar as empresas para futuras regulações e facilitar o acesso a mercados e financiamentos que priorizam critérios ESG (Ambientais, Sociais e de Governança), o protocolo ajuda a identificar oportunidades de eficiência, reduzir custos e mitigar riscos climáticos. Ao medir suas emissões, as empresas também contribuem para as metas nacionais e globais de redução de gases de efeito estufa, como o Acordo de Paris, reforçando seu papel na transição para uma economia de baixo carbono (BARBOSA, 2023).

A indústria poderá realizar uma análise detalhada de suas emissões de gases de efeito estufa, considerando os diferentes escopos contemplados pelo GHG Protocol. Isso permitirá identificar as principais fontes de emissões e compreender como suas atividades contribuem para o aquecimento global. Com base na análise das emissões, a indústria poderá estabelecer metas de redução de emissões de GEE, as quais podem ser definidas em conformidade com as diretrizes do GHG Protocol e definidas com as melhores práticas. Ao estabelecer metas ambiciosas e alcançáveis, a indústria demonstrará seu compromisso com a sustentabilidade e a mitigação das mudanças climáticas (SCHVAMBACH, 2023).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (2023), implementar uma série de medidas de mitigação para reduzir suas emissões de GEE pode incluir a adoção de tecnologias mais eficientes em termos energéticos, a otimização de processos produtivos, a redução do consumo de energia, o uso de fontes renováveis de energia e a implementação de programas de eficiência energética. Essas medidas contribuirão para a redução das emissões de GEE e, ao mesmo tempo, podem resultar em economia de custos operacionais.

Garantindo o cumprimento das regulamentações e normas relacionadas às emissões de GEE, bem como às práticas de sustentabilidade evita desembolsos legais e mantém uma credibilidade no mercado. O GHG Protocol fornece diretrizes reconhecidas internacionalmente, facilitando a conformidade com as melhores práticas do setor.

Ao adotar práticas eficazes de gestão de GEE e redução de emissões, a fábrica de máquinas agrícolas pode conquistar uma vantagem competitiva significativa no mercado. De acordo com Gomes (2024), os consumidores estão cada vez mais inclinados a escolher empresas que demonstram compromisso com a responsabilidade socioambiental. Além disso, muitas cadeias de suprimentos e mercados exigem que as empresas comprovem seus esforços para reduzir as emissões de GEE, garantindo a sustentabilidade de suas operações e a conformidade com as expectativas globais de sustentabilidade.

Em um cenário global de crescente regulamentação ambiental e maiores exigências do mercado, um fator que se torna cada vez mais crítico, a realização de um estudo científico em uma indústria de máquinas agrícolas é essencial para avaliar e gerenciar eficazmente as emissões de gases de efeito estufa (GEE). Ao adotar ferramentas como o GHG Protocol, a indústria pode identificar as principais fontes de emissões, mensurar o impacto de suas operações e definir metas concretas de redução. Este processo de quantificação, pilar da presente dissertação, baseia-se na metodologia do GHG Protocol, que aplica princípios científicos para converter dados de atividade como o consumo de energia e combustíveis em emissões de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) por meio de fatores de emissão padronizados, uma abordagem que não só ajuda a mitigar os efeitos das mudanças climáticas, como também promove maior eficiência energética e redução de custos operacionais, gerando vantagens competitivas.

A implementação de práticas de gestão de GEE, baseadas em estudos científicos, fortalece a transparência e garante conformidade regulatória, fatores essenciais em um ambiente corporativo cada vez mais orientado por políticas ESG. Ao se alinhar aos padrões globais de sustentabilidade, como o Acordo de Paris, a indústria de máquinas agrícolas não só atende às expectativas dos stakeholders, mas também se antecipa a futuras exigências legais. Isso amplia o acesso a mercados e cadeias de suprimentos responsáveis, impulsionando sua integração em uma economia de baixo carbono e criando novas oportunidades de crescimento e inovação.

1.2 Objetivo

1.2.1 Objetivo Geral

Este estudo tem como objetivo analisar um inventário de gases de efeito estufa (GEE) para os escopos 1 e 2, aplicando a metodologia do Programa Brasileiro de GHG Protocol, em uma indústria de máquinas agrícolas localizada em Catalão-GO. A partir dessa análise, se busca identificar oportunidades de melhoria e propor soluções para mitigar as emissões de GEE da empresa, alinhando suas operações a práticas mais sustentáveis e atendendo às crescentes exigências ambientais.

1.2.2 Objetivos Específicos

Este trabalho tem como seus objetivos específicos:

- Levantar e quantificar as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) dos Escopos 1 e 2 da indústria de máquinas agrícolas localizada em Catalão-GO, referentes aos anos de 2021, 2022 e 2023, utilizando a metodologia do Programa Brasileiro de GHG Protocol;
- Identificar as principais fontes de emissão de GEE nos Escopos 1 e 2 dentro da operação da indústria, com foco em combustíveis fósseis (como GLP) e consumo de energia elétrica;
- Analisar o impacto das atividades industriais nas emissões de GEE e a contribuição de cada fonte para o perfil de emissões da empresa;
- Analisar estratégias e ações de mitigação para a redução das emissões de GEE, e de práticas de eficiência energética.

1.3 Justificativa

Ao longo dos anos, o planeta Terra tem passado por mudanças climáticas. Essas transformações ocorrem de maneira natural, sendo parte do processo evolutivo do próprio planeta. Como resultado, ele sofre alterações por diversos fatores, como variações em sua órbita, correntes oceânicas, tempestades solares, quedas de meteoros, atividade vulcânica, entre outros. No entanto, é inegável que a ação humana tem intensificado essas mudanças. O principal fator de contribuição para essa intensificação, em um nível global e com impactos ambientais negativos, são as emissões atmosféricas provenientes de processos produtivos, especialmente das atividades industriais (REHBEIN, 2023).

O desenvolvimento e o crescimento econômico impulsionados pela industrialização têm se tornado cada vez mais desafiadores em razão dos impactos ambientais negativos que geram. Conciliar essas diretrizes, essenciais para a humanidade, de forma que possam avançar juntas sem comprometer uma à outra, exige a busca de alternativas que permitam o crescimento econômico aliado a uma redução dos impactos ambientais, como emissões atmosféricas e resíduos sólidos. A importância dos recursos ambientais para a produtividade industrial e seu valor econômico destacam sua contribuição para o bem-estar social (COSME, 2023).

De acordo com De Assis (2023), a valorização econômica do meio ambiente ocorre quando a conscientização global sobre a preservação dos recursos naturais se alinha ao crescimento e à conservação. Esses critérios buscam, diante do aumento da demanda e da necessidade de qualidade dos bens e serviços gerados por esses recursos, garantir sua preservação para as futuras gerações. Dada essa realidade, a busca por um desenvolvimento sustentável com enfoque econômico torna-se cada vez mais relevante.

Assumir a responsabilidade e a consciência ambiental em um contexto empresarial está se tornando cada vez mais desafiador, especialmente com o aumento das preocupações ambientais e a necessidade de agir de forma sustentável e socialmente responsável. Nesse cenário, a empresa estabeleceu metas claras, com projeções de resultados que geram impactos positivos em seus processos, considerando diferentes cenários e a relevância de cada etapa. Uma dessas metas é a redução de suas emissões de CO₂: 50% no escopo 1 e 2, e 30% no escopo 3. Ou seja, a empresa busca satisfazer suas necessidades operacionais sem aumentar suas emissões de gases de efeito estufa, ao mesmo tempo em que implementa estratégias para reduzir esses impactos.

Um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) é essencial para enfrentar os desafios ambientais dentro de uma organização, pois segue as diretrizes da norma ISO 14001, que estabelece requisitos para uma gestão ambiental eficaz. Esse sistema visa não apenas a proteção e conservação do meio ambiente, mas também a prevenção de impactos ambientais, promovendo a melhoria contínua das práticas sustentáveis. Ao adotar um SGA, a organização se compromete com a gestão ambiental responsável, assegurando a sustentabilidade de suas operações e a minimização de seus impactos no futuro (MOIA, 2023).

A crescente preocupação global com o desenvolvimento econômico sustentável, especialmente nos países em desenvolvimento, tem sido tratada com seriedade. No Brasil, uma das principais iniciativas para enfrentar esse desafio foi a criação do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), uma proposta brasileira que visa certificar projetos voltados à redução de emissões. Essa estratégia não apenas contribui para a mitigação das mudanças climáticas, mas também impulsiona a implementação de práticas sustentáveis no país, alinhando-se às metas internacionais de redução de emissões (MEGIDO, 2023).

2 CAPÍTULO 2

2.2 REVISÃO DE LITERATURA

Para este estudo, foi realizada uma revisão bibliográfica aprofundada para reunir informações atuais sobre o GHG Protocol, gases de efeito estufa (GEE), mudanças climáticas e outros tópicos relacionados. A pesquisa utiliza a metodologia do GHG Protocol como referência central para o estudo de caso, estruturando-o conforme o contexto discutido ao longo da proposta. A aplicação do GHG Protocol se destaca por sua importância dentro das organizações, pois permite a criação de inventários precisos para quantificar as emissões de GEE. Essa prática é fundamental, considerando os efeitos das emissões antropogênicas e a necessidade de adotar ações que mitiguem tais impactos, promovendo melhorias ambientais.

Nesse contexto, o inventário do GHG Protocol não só mede as emissões, mas também orienta as organizações em direção a uma gestão mais consciente e eficiente de seus impactos. Essa abordagem se alinha aos objetivos do mercado de carbono, que representa uma ferramenta crucial para a redução de emissões de GEE e o avanço das metas climáticas globais.

2.2.1 Gases de efeito estufa

O equilíbrio térmico entre a radiação solar absorvida e a radiação térmica emitida pela Terra é essencial para a manutenção da temperatura global e das condições climáticas. A atmosfera desempenha um papel crucial nesse processo, permitindo que parte da radiação solar chegue à superfície, enquanto os gases atmosféricos absorvem e liberam a radiação térmica emitida pela Terra, mantendo a temperatura do planeta em níveis adequados à vida. Esse delicado equilíbrio entre a absorção e a emissão de radiação é fundamental para a regulação da temperatura da Terra ao longo do tempo (MARTINS, 2020).

Entender a dinâmica da radiação solar e do calor na atmosfera é crucial para avaliar as mudanças climáticas e os impactos das atividades humanas, como as emissões de gases de efeito estufa, que podem perturbar esse equilíbrio e afetar o clima global de maneira significativa. A Terra libera o excesso de energia como radiação infravermelha, mas gases de

efeito estufa na atmosfera, como vapor d'água e dióxido de carbono, dificultam a saída dessa energia para o espaço (DALE, 2021).

Esses gases têm a capacidade de absorver a maior parte da radiação infravermelha, criando um efeito que impede a liberação direta da energia da superfície da Terra para o espaço. O aumento das emissões de gases de efeito estufa, como dióxido de carbono e metano, intensifica a habilidade da atmosfera de absorver mais radiação infravermelha. Isso parece desestabilizar o equilíbrio climático que regula a entrada e a saída de energia no planeta. Com o fortalecimento do efeito estufa, há uma retenção maior de radiação infravermelha, resultando em um aquecimento gradual da atmosfera (GOMES, 2022).

O desequilíbrio térmico resultante afeta diretamente o clima global, levantando preocupações sobre o impacto das alterações climáticas no planeta. O fortalecimento do efeito estufa é um processo complexo com implicações significativas para o clima e os ecossistemas da Terra. O aquecimento da atmosfera resultante pode causar impactos secundários, tais como mudanças nos padrões climáticos, eventos climáticos extremos e perturbação dos ecossistemas. A compreensão destes mecanismos é fundamental para avaliar e enfrentar os desafios das alterações climáticas globais e minimizar os impactos negativos associados à intensificação do efeito de estufa (BURSZTYN, 2018).

Os gases de efeito estufa (GEE) desempenham um papel vital na regulação térmica da Terra, ajudando a manter condições climáticas propícias à vida. Esses gases, sejam naturais ou produzidos pelo homem, têm a capacidade única de absorver e reemitir radiação infravermelha, criando um fenômeno conhecido como efeito estufa. Os gases de efeito estufa mais importantes incluem o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O) e os gases fluorados, cuja presença na atmosfera afeta diretamente o clima global. Apesar de desempenharem um papel importante na manutenção do equilíbrio térmico, as elevadas concentrações de gases de efeito estufa, produzidos principalmente pelas atividades humanas, estão a exacerbar o efeito de estufa, causando o aquecimento global. O aumento descontrolado destas emissões está associado a alterações climáticas significativas, manifestadas em fenômenos meteorológicos extremos, alterações nos padrões de precipitação e subida do nível do mar. Compreender e monitorizar continuamente as concentrações de gases de efeito estufa é fundamental para implementar estratégias de mitigação eficazes e limitar os efeitos adversos das alterações climática (SOUZA, 2020).

De acordo com o Anexo A do Protocolo de Quioto, os gases de efeito estufa cujas emissões precisam ser reduzidas incluem dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e gases fluorados como hexafluoreto de enxofre (SF_6), hidrofluorcarbonetos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) e trifluoreto de nitrogênio (NF_3). Este último foi adicionado após a publicação do Quinto Relatório de Avaliação do IPCC sobre as alterações climáticas globais em 2013 e, embora represente apenas uma proporção muito pequena, foi tido em

conta no cálculo da quantidade de emissões durante o segundo período de Quioto, abrangendo o período de 2013 a 2020.

O Protocolo destaca a importância de controlar e reduzir as emissões de gases de efeito estufa para atenuar os impactos das mudanças climáticas. Focar em restrições específicas para essas fontes de poluição é crucial para abordar as causas subjacentes do aumento das temperaturas globais. As iniciativas para monitorar e gerenciar as emissões de gases de efeito estufa não têm como objetivo apenas cumprir compromissos internacionais, mas também promover a sustentabilidade ambiental e minimizar os efeitos negativos associados ao aquecimento global (PAULA, 2023).

O monitoramento das emissões de gases de efeito estufa tornou-se uma prioridade global, sublinhada por acordos internacionais como o Protocolo de Quioto e o Acordo de Paris. Estas iniciativas visam reduzir as emissões, promover práticas sustentáveis e a transição para energias renováveis. Abordar eficazmente as emissões de gases de efeito estufa é fundamental para garantir um futuro sustentável, proteger os ecossistemas e mitigar os efeitos nocivos do aquecimento global sobre a vida na Terra.

2.2.1.1 Aquecimento global e gases de efeito estufa

O aquecimento global é um fenômeno caracterizado pelo aumento das temperaturas médias da Terra, que atualmente está em torno de 15° C. Esse aumento é impulsionado pela presença de gases como o dióxido de carbono e o metano, que, junto com o vapor d'água, formam uma camada que retém parte do calor do Sol na atmosfera. Sem esses gases, a temperatura média da Terra seria de aproximadamente -17° C, resultando em um ambiente congelante. Esse processo natural é conhecido como efeito estufa, e sem ele, a diversidade da vida no planeta seria drasticamente comprometida (IPCC, 2021).

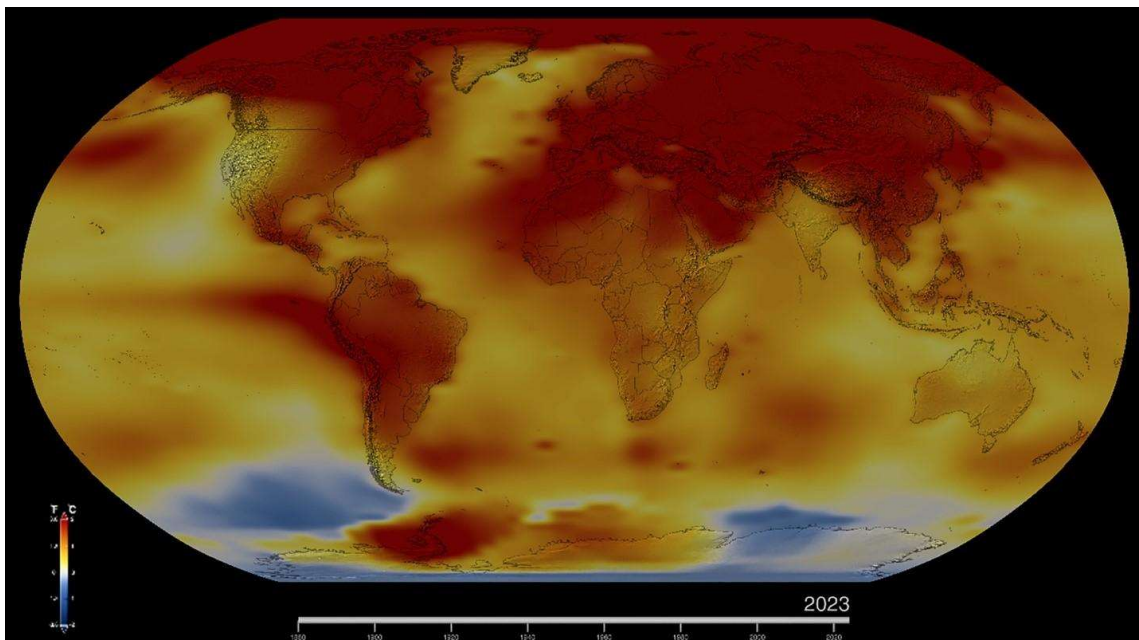
A partir da Revolução Industrial, houve uma ampla utilização de carbono, encontrado sobretudo como carvão mineral, petróleo e gás natural, tanto em veículos quanto na geração de energia industrial. Paralelamente, as florestas, importantes reservatórios de carbono, foram progressivamente degradadas e sujeitas a incêndios em uma escala crescente. Esse cenário resultou na emissão considerável de dióxido de carbono, metano e outros gases na atmosfera, aumentando a densidade da camada que retém o calor e intensificando o efeito estufa. Atualmente, nosso planeta manifesta mais evidências de um aumento na temperatura, consolidando o aquecimento global como o principal desafio ambiental do século 21 (DE FREITAS, 2018).

Gases como o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O) retêm o calor do Sol na atmosfera, gerando um efeito estufa que eleva a temperatura global. Essa dinâmica possui diversas causas e implicações significativas para o meio ambiente, a sociedade e a economia. A queima de combustíveis fósseis, como petróleo, carvão e gás natural, para a produção de energia e transporte é a principal fonte de emissões de dióxido de carbono (CO_2), o gás de efeito estufa mais abundante. Além disso, o uso de combustíveis fósseis na indústria e em residências também contribui de maneira significativa para essas emissões. Quanto maior a liberação desses gases, mais intenso é o aquecimento da Terra (COLLADO, 2023).

A NASA informou que o ano de 2023 foi identificado como o mais quente já registrado. A análise desse fenômeno foi conduzida por meio do estudo das médias das temperaturas globais, realizado pelo Instituto Goddard de Estudos Espaciais. Esse estudo revelou uma anomalia significativa nas temperaturas globais em comparação com a média histórica. Ao utilizar dados coletados desde 1880, o cálculo realizado para estabelecer esse entendimento levou em consideração as variações nas temperaturas ao longo do período de 1951 a 1980.

Essencialmente, a NASA utilizou informações climáticas coletadas ao longo de várias décadas para determinar como as temperaturas médias globais (Figura 1) têm se desviado da média estabelecida entre 1951 e 1980. O fato de 2023 ser identificado como o ano mais quente destaca a preocupante tendência de aumento das temperaturas globais, sinalizando a importância de abordagens efetivas para lidar com as mudanças climáticas e seus potenciais consequências.

Figura 1 - Temperaturas médias globais

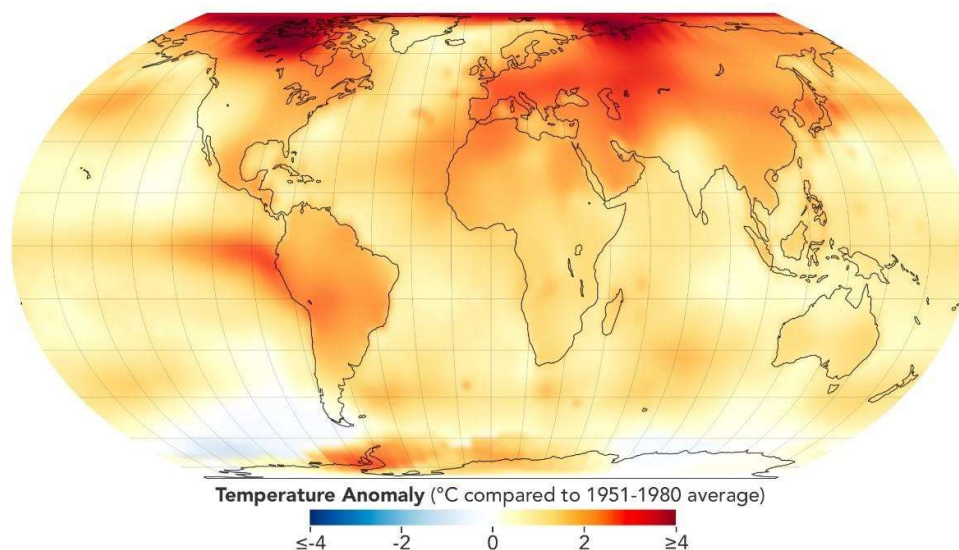


Fonte: NASA, 2023.

A principal causa do aquecimento global é a liberação de gases de efeito estufa resultante das atividades humanas, como a queima de combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás natural) para produzir energia e transporte, bem como o desmatamento. A demanda crescente por energia, juntamente com a queima de combustíveis fósseis para atendê-la, contribui significativamente para as emissões de CO₂. Desmatamento a destruição de florestas, que são sumidouros naturais de CO₂, libera grandes quantidades desse gás na atmosfera. Agricultura e Pecuária produção agrícola e pecuária gera emissões significativas de metano e óxido nitroso, ambos gases de efeito estufa. Sendo este, o principal fator, do aquecimento global. De acordo com Gavin Schmidt, líder do Instituto Goddard de Pesquisas Espaciais da NASA (Figura 2), localizado em Nova York, o aumento da temperatura registrado nos últimos 50 a 60 anos é principalmente causado pela modificação nos níveis de gases que geram o efeito estufa, com destaque para o aumento de CO₂ e metano.

Como o nome sugere, o aumento das temperaturas médias globais é o impacto mais evidente. Isso leva a ondas de calor mais frequentes e intensas, derretimento de calotas de gelo e aumento do nível do mar. O aquecimento global é um desafio complexo que requer cooperação global para enfrentar. Governos, empresas e indivíduos desempenham um papel crucial na redução das emissões de gases de efeito estufa e na mitigação dos impactos das mudanças climáticas. É essencial tomar medidas agora para limitar o aquecimento global e proteger o futuro do planeta.

Figura 2 – Anomalia de temperatura global



Fonte: NASA, 2023.

As Alterações Climáticas, manifestadas pelo aquecimento global, estão provocando transformações significativas nos padrões climáticos em escala mundial. Este fenômeno tem

desencadeado eventos climáticos extremos, como furacões mais intensos, caracterizados por ventos mais fortes e maior destruição. Além disso, observa-se um aumento na frequência de secas prolongadas e inundações, impactando ecossistemas, comunidades e a infraestrutura global. Essas mudanças climáticas não apenas representam uma ameaça iminente para o meio ambiente, mas também apresentam desafios consideráveis para a adaptação das sociedades humanas. É imperativo adotar medidas mitigadoras e estratégias de resiliência para enfrentar os impactos crescentes desses padrões climáticos extremos, visando a preservação do equilíbrio ambiental e a proteção de comunidades vulneráveis em todo o mundo (CARDOSO, 2020).

As consequências das mudanças climáticas já são evidentes e incluem o derretimento de geleiras, a acidificação dos oceanos, a perda acelerada de biodiversidade, impactos severos na produção agrícola e ameaças diretas e indiretas à saúde humana. (SANTORO, 2020).

A ameaça das mudanças climáticas à biodiversidade é profunda, com o risco de extinção de várias espécies e o consequente rompimento dos equilíbrios naturais nos ecossistemas. O aumento das temperaturas, as mudanças nos padrões climáticos e outros impactos ambientais têm levado à redução de habitats essenciais para inúmeras formas de vida. Esse declínio na diversidade biológica compromete a capacidade dos ecossistemas de oferecer serviços cruciais, além de reduzir sua resiliência e estabilidade. A perda de biodiversidade é uma preocupação global, já que cada espécie desempenha um papel essencial, contribuindo para processos como polinização, reciclagem de nutrientes e controle de pragas. Assim, preservar a biodiversidade é essencial para garantir a sustentabilidade dos ecossistemas e manter o equilíbrio saudável da vida no planeta (MARQUES, 2023).

As mudanças climáticas têm um grande impacto na agricultura, comprometendo a produção de alimentos devido às condições ambientais extremas, como secas e inundações. Esses eventos climáticos adversos podem resultar em colheitas reduzidas, diminuição da produtividade e aumento da incerteza alimentar em diversas partes do globo. De acordo com diversos estudos, incluindo o relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), os efeitos das mudanças climáticas na agricultura são cada vez mais evidentes e representam uma ameaça significativa à segurança alimentar global (IPCC, 2021).

Além disso, a produção agrícola e pecuária desempenha um papel significativo nas emissões de gases de efeito estufa, contribuindo para a intensificação das mudanças climáticas. A parcela considerável de emissões de metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) originadas na agricultura e pecuária representa um desafio adicional. O metano é liberado durante processos como a digestão dos animais e a decomposição de resíduos orgânicos, enquanto o óxido nitroso é produzido predominantemente pela aplicação de fertilizantes

agrícolas. A gestão sustentável dessas práticas agrícolas torna-se crucial não apenas para mitigar as emissões de gases de efeito estufa, mas também para promover uma agricultura mais resiliente e adaptada às condições climáticas em transformação (MASSON-DELMOTTE, 2021).

O aumento de temperaturas extremas constitui uma ameaça direta à saúde humana, podendo resultar em problemas como insolação e outras condições relacionadas ao calor. O calor excessivo impõe uma carga sobre o organismo humano, levando a efeitos adversos, especialmente para grupos mais vulneráveis. Além disso, o aquecimento global influencia padrões de doenças transmissíveis, o que pode afetar sua disseminação e prevalência. Essa conexão entre mudanças climáticas e saúde humana ressalta a urgência de adotar estratégias de adaptação e mitigação para proteger populações vulneráveis e promover ambientes mais saudáveis. Compreender tanto os impactos diretos quanto os indiretos das mudanças climáticas na saúde é essencial para orientar políticas públicas e intervenções eficazes. Além dos desafios imediatos causados pelo calor extremo, adaptar-se a novos padrões de doenças transmissíveis é uma dimensão crucial para o planejamento dos sistemas de saúde e para a promoção do bem-estar global em um cenário de mudanças climáticas constantes (DOS SANTOS, 2022).

O desmatamento emerge como um fator crucial no acréscimo das concentrações de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera. Árvores desempenham um papel vital como sumidouros naturais, absorvendo CO_2 durante o processo de fotossíntese. Contudo, quando ocorre o desmatamento, as florestas perdem sua capacidade de reter carbono, resultando na liberação significativa desse gás na atmosfera. A derrubada de árvores, muitas vezes para dar lugar a atividades como agricultura, pecuária e expansão urbana, contribui substancialmente para o aumento das emissões de CO_2 , exacerbando os desafios relacionados às mudanças climáticas. Além do impacto direto nas concentrações de CO_2 , o desmatamento também desencadeia uma série de consequências negativas para os ecossistemas, biodiversidade e comunidades locais. A perda de habitats florestais coloca em risco inúmeras espécies de plantas e animais, enquanto a degradação do solo e os desequilíbrios nos ciclos hidrológicos podem resultar em impactos ambientais a longo prazo. O desmatamento, portanto, não é apenas uma questão climática, mas também um desafio multidimensional que requer abordagens integradas para conservação e uso sustentável da terra (MARQUES, 2023).

O enfrentamento efetivo do desmatamento demanda esforços coordenados globalmente, promovendo práticas sustentáveis de manejo florestal, incentivando a reflorestação e adotando estratégias que busquem conciliar o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental. A conscientização sobre os impactos do desmatamento e a implementação de políticas que promovam práticas sustentáveis são fundamentais para

mitigar as emissões de CO₂ e preservar os ecossistemas cruciais para a saúde do nosso planeta as emissões antropogênicas de gases de efeito estufa são uma questão importante nas alterações climáticas e estão diretamente relacionadas com diversas atividades humanas. Além das fontes já discutidas, é crucial estudar outras contribuições relevantes dessas emissões de gases para ampliar a compreensão do impacto das ações humanas que aumentam o efeito estufa. Dessa forma, fica claro que os gases de efeito estufa é um dos principais fatores do aquecimento global (BARBIERI, 2017).

A luta contra o aquecimento global exige uma abordagem abrangente que inclua medidas de mitigação e de adaptação para enfrentar os desafios colocados pelas alterações climáticas. Quando se trata de mitigar as alterações climáticas, a chave é concentrar-se na redução das emissões de gases de efeito estufa. Esta abordagem inclui a transição para fontes de energia limpa, como a energia solar e eólica, como estratégia fundamental para reduzir a dependência de combustíveis fósseis, que são responsáveis por uma grande parte destas emissões. A eficiência energética desempenha um papel vital na mitigação das alterações climáticas, com foco na melhoria dos edifícios e dos transportes. Investir em tecnologias que reduzam o consumo de energia contribui diretamente para a redução de emissões. As indústrias da aviação e do transporte marítimo desempenham um papel significativo nas emissões globais. As aeronaves emitem uma variedade de gases, incluindo dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NOx) e, mais importante, dióxido de carbono proveniente da queima de combustível. Da mesma forma, além do dióxido de carbono, os navios de mar também libertam óxidos de enxofre e óxidos de azoto, contribuindo para o aumento dos níveis de gases de efeito estufa na atmosfera (MENDES GOMES, 2024).

A adaptação às alterações climáticas é um processo importante que requer preparação para enfrentar os impactos inevitáveis das alterações climáticas. Isto envolve a tomada de medidas proativas para combater eventos extremos, como a subida do nível do mar. Neste caso, o reforço das infraestruturas é crucial, garantindo que as estruturas existentes possam resistir a condições adversas e proteger as comunidades de possíveis danos. Além disso, a proteção das zonas marinhas desempenha um papel crucial nos processos de adaptação, uma vez que estas zonas enfrentam frequentemente maiores riscos decorrentes das alterações climáticas. A implementação de estratégias de gestão da água também é fundamental para garantir uma resposta eficaz às flutuações climáticas, incluindo períodos de seca ou chuvas fortes. Ao adotar uma abordagem abrangente e sustentável, as comunidades podem responder de forma mais eficaz aos desafios climáticos imediatos e promover a segurança a longo prazo (FANDÉ, 2022).

Neste sentido, a adaptação significa não apenas uma resposta imediata às alterações climáticas, mas também o desenvolvimento contínuo de estratégias de longo prazo. Isto envolve implementar políticas e práticas que promovam a sustentabilidade ambiental,

económica e social e formar comunidades para enfrentar e superar os desafios colocados pelas alterações climáticas.

2.2.1.2 Mudanças climáticas

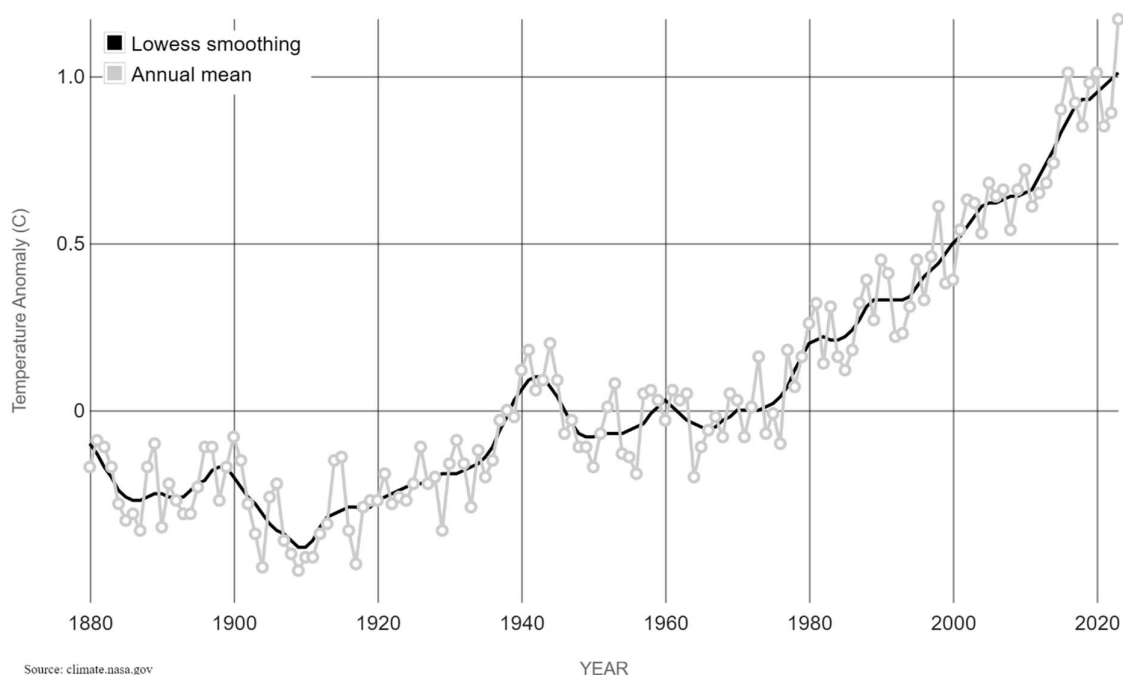
Devido aos comportamentos humanos como o consumo excessivo e a produção intensiva, aliados à crescente exploração dos recursos naturais, resultaram num aumento dos recursos de poluição atmosférica. Esse efeito é resultado das emissões de gases poluentes provenientes das atividades industriais e do uso de veículos. Além disso, a intensificação da produção agrícola e industrial exacerbou gravemente a desflorestação, acelerou a perda de área florestal e teve um impacto direto nas condições climáticas (DE MATOS, 2020).

Dessa forma, a exploração sem limites dos recursos naturais, impulsionada pelo excesso de consumo e produção em larga escala, pode acarretar consequências adversas para o meio ambiente. A destruição das florestas, em especial, não apenas prejudica a diversidade de espécies, mas também desencadeia mudanças climáticas, resultando em uma série de impactos negativos para os ecossistemas e as comunidades que dependem desses recursos. Diante desse panorama, torna-se fundamental promover práticas mais sustentáveis, diminuir a pegada ecológica e implementar medidas para mitigar os efeitos nocivos provocados pelas atividades humanas. Compreender a relação entre consumo, produção e suas consequências ambientais é além das medidas de mitigação, a adaptação também é importante. Isto inclui a adaptação de infraestruturas, práticas agrícolas e sistemas de gestão de recursos naturais para fazer face às alterações climáticas em curso. A promoção de práticas sustentáveis no contexto da agricultura é importante para a resiliência climática, enquanto os transportes sustentáveis e a redução do desperdício de energia apoiam uma abordagem mais holística para combater o aquecimento global. Uma combinação eficaz de estratégias de mitigação e adaptação é, portanto, essencial para construir um futuro sustentável e resiliente face aos desafios climáticos (MASSON-DELMOTTE, 2021).

As transformações climáticas trazem impactos significativos aos ecossistemas da Terra, incluindo o derretimento das geleiras, a acidificação dos oceanos, a perda de biodiversidade, a desertificação e a migração de espécies. Essas alterações, já evidentes, destacam a complexidade das mudanças ambientais provocadas pelo aquecimento global. Entre as áreas mais vulneráveis estão as zonas costeiras, especialmente expostas à elevação do nível do mar, uma consequência direta das mudanças climáticas. O aumento das temperaturas globais intensifica o derretimento de glaciares e a subida do nível do mar,

elevando o risco de inundações e erosão nas áreas costeiras. Os efeitos das mudanças climáticas sobre as comunidades costeiras são claros, impondo desafios substanciais de adaptação e mitigação de riscos associados a eventos meteorológicos extremos e à elevação do nível do mar (MARUJO, 2022).

Figura 3 - Índice global da temperatura terra-oceano



Fonte: NASA, 2022.

Dada a necessidade urgente de proteger os ecossistemas costeiros e as comunidades vulneráveis, é clara a necessidade de medidas eficazes para resolver estas questões. A adoção de medidas de adaptação, a conservação das zonas costeiras e a implementação

de estratégias de mitigação das alterações climáticas são passos importantes para reduzir os impactos na biodiversidade, nas economias locais e na qualidade de vida das populações afetadas (Governo de STP, 2021).

As altas temperaturas causadas pelas alterações climáticas podem causar secas generalizadas, com graves consequências para a agricultura e a produção alimentar. Segundo dados do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) de 2019, o aquecimento global pode levar a uma redução significativa na produtividade da colheita de milho no Brasil, estimada em 5,5% para cada grau que esquentar ainda mais. Esta apresentação destaca a vulnerabilidade do sector agrícola às alterações climáticas, somando-se aos desafios associados à segurança alimentar.

Ainda segundo o IPCC (2019), a queda da produção alimentar, combinada com o aumento dos preços, representa riscos significativos para a segurança alimentar de muitas pessoas. A capacidade de garantir um acesso consistente, suficiente e de qualidade aos alimentos está a tornar-se uma preocupação primordial. O aumento dos preços dos alimentos poderá afetar a capacidade das populações mais vulneráveis de satisfazerem as suas necessidades nutricionais básicas. A inter-relação entre as alterações climáticas, a produção alimentar e a segurança alimentar realçam a necessidade urgente de estratégias abrangentes para enfrentar estes desafios. Para mitigar os impactos esperados, é imperativa a adoção de medidas que promovam a resiliência do setor agrícola. Investir em práticas agrícolas sustentáveis, desenvolver variedades de culturas adaptadas às alterações climáticas e implementar políticas práticas são passos importantes para proteger a segurança alimentar contra os desafios das alterações climáticas.

O compromisso pessoal parece ser um elemento importante na luta contra as alterações climáticas, permitindo que as pessoas façam escolhas sustentáveis para minimizar o seu impacto ambiental. Uma abordagem eficaz consiste em reduzir o consumo de energia através da mudança para fontes de energia mais eficientes e renováveis, bem como da adopção de modos de transporte ecológicos, como a utilização de transportes públicos ou eléctricos. Além disso, as práticas de reciclagem e redução de resíduos são estratégias tangíveis que os indivíduos podem integrar nas suas rotinas diárias, contribuindo para a conservação dos recursos naturais e reduzindo a pressão sobre o ambiente (DE SOUZA RIBEIRO, 2017).

Ao integrar atitudes conscientes e sustentáveis, as pessoas não só reduzem a sua pegada de carbono, mas também desempenham um papel importante na promoção de uma cultura mais responsável do ponto de vista ambiental. Estas escolhas, quando disseminadas entre comunidades e sociedades, formarão uma rede de práticas sustentáveis que, coletivamente, terão um impacto significativo na redução das emissões de gases de efeito estufa e na promoção de estilos de vida mais saudáveis, mais consistentes com a preservação

do planeta. Portanto, a sensibilização e a tomada de medidas sustentáveis a nível individual desempenham um papel insubstituível na procura de soluções eficazes para os desafios climáticos globais (KRONEMBERGER,2019).

A crise climática impõe uma ameaça grave ao planeta e à humanidade, exigindo respostas imediatas nos níveis individual, comunitário, nacional e internacional. A sensibilização e a colaboração global são fundamentais para enfrentar esse desafio complexo e urgente. As mudanças no clima, ao longo do tempo, podem provocar desastres que ameaçam a sobrevivência de inúmeras espécies e ecossistemas (LOOSE, 2021).

2.2.1.3 Aquecimento global no Brasil

O aumento das temperaturas médias é uma tendência observada globalmente, e o Brasil não é uma exceção. Por ser um país tropical, tem uma maior vulnerabilidade para as altas temperaturas, com isso o país tem um grande impacto nas mudanças climáticas, sofrendo com o altas temperaturas, catástrofes naturais etc. Essas mudanças têm implicações diretas sobre os padrões climáticos, levando a eventos extremos mais frequentes e intensos. Regiões como a Amazônia enfrentam períodos de secas prolongadas, aumentando o risco de incêndios florestais devastadores, enquanto áreas costeiras são vulneráveis a eventos climáticos extremos, como tempestades e elevação do nível do mar. Sendo um país, dotado de uma vasta extensão territorial e uma rica diversidade ambiental, não está isento dos impactos do aquecimento global. O fenômeno, causado principalmente pelas atividades humanas, tem efeitos significativos sobre o clima e o meio ambiente brasileiros, influenciando ecossistemas, biodiversidade, agricultura e comunidades locais (NOGUEIRA, 2021)

O aquecimento global no Brasil representa uma ameaça significativa à biodiversidade única do país. As mudanças climáticas impactam ecossistemas terrestres e aquáticos, colocando em risco inúmeras espécies. O aumento das temperaturas e as variações nos padrões de chuva podem causar desequilíbrios nos ecossistemas, afetando a reprodução, migração e alimentação de diversas espécies de animais e plantas. No bioma amazônico, que ocupa uma grande parte do território brasileiro, a redução das chuvas e a crescente frequência de eventos extremos, como secas e incêndios, são fontes de preocupação. Esses fenômenos comprometem a capacidade da floresta de funcionar como um sumidouro de carbono, intensificando o ciclo do aquecimento global (ARTAXO, 2022).

O setor agrícola do Brasil enfrenta uma vulnerabilidade notável às mudanças climáticas. As flutuações nas chuvas e na temperatura representam sérias ameaças à

produção de culturas essenciais como soja, café e milho. Estas alterações climáticas, muitas vezes caracterizadas por eventos extremos, como secas prolongadas e inundações, têm impactos significativos para além do sector agrícola, afetando diretamente a segurança alimentar e a economia do país. A dependência do Brasil de setores agrícolas específicos torna-se um ponto de grave vulnerabilidade, uma vez que as mudanças climáticas podem levar a desafios significativos na produção destas culturas essenciais (DOS SANTOS, 2024).

O aumento da frequência e intensidade de eventos meteorológicos extremos contribui para a instabilidade das culturas, afetando não apenas o abastecimento de alimentos, mas também os meios de subsistência e a estabilidade econômica das comunidades agrícolas. Diante desses desafios, torna-se crucial implementar estratégias de adaptação e resiliência no setor agrícola, assegurando a sustentabilidade e a segurança alimentar em um contexto climático cada vez mais dinâmico. Para superar essas dificuldades, é fundamental adotar medidas que incentivem a diversificação agrícola, promovam práticas mais sustentáveis e incorporem tecnologias adaptadas às novas condições climáticas. Além disso, investir em pesquisa e inovação pode favorecer o desenvolvimento de sistemas agrícolas mais resilientes, capazes de enfrentar os desafios das mudanças climáticas e garantir a sustentabilidade a longo prazo do setor no Brasil (SEPULVIDA, 2023).

Além disso, os recursos hídricos, fundamentais para a agricultura e o abastecimento de água potável, estão sob pressão devido ao aquecimento global. A escassez de água em determinadas regiões pode agravar conflitos pelo acesso a esse recurso vital e aumentar os desafios relacionados à gestão sustentável dos recursos hídricos (VICTORINO, 2007).

Diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas, o Brasil é obrigado a adotar medidas eficazes para mitigar e se adaptar aos impactos do aquecimento global. As políticas externas de conservação e reflorestamento, especialmente na região amazônica, desempenham um papel essencial na preservação de ecossistemas essenciais e na manutenção do equilíbrio climático. Estas iniciativas não visam apenas proteger a biodiversidade única da Amazônia, mas também contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa, importante causa das mudanças climáticas globais (NOGUEIRA, 2021).

Os investimentos direcionados em práticas agrícolas sustentáveis e a implantação de tecnologias estratégicas de adaptação são essenciais para aumentar a resiliência do setor agrícola às alterações das condições climáticas. A promoção de métodos agrícolas que maximizem a eficiência, reduza o impacto ambiental e promovam a conservação do solo é essencial para garantir a sustentabilidade a longo prazo. Estas medidas não só beneficiam o próprio sector agrícola, mas também reduzem o impacto negativo das alterações climáticas na segurança alimentar e na economia do país. Diante deste cenário complexo, a implementação coordenada de políticas abrangentes, incluindo conservação ambiental,

arborização e práticas agrícolas sustentáveis, é essencial para enfrentar os desafios colocados pelo clima atual. Unir forças para adotar uma abordagem integrada é fundamental para garantir a sustentabilidade ambiental, econômica e social face às alterações climáticas em curso (MILHORANCE; SABOURIN; MENDES, 2021).

Além disso, é imperativo que o Brasil assume compromissos internacionais para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, contribuindo assim para os esforços globais de combate às mudanças climáticas. A promoção de fontes de energia renovável, a eficiência energética e a conscientização da população sobre a importância da preservação ambiental são passos fundamentais nesse sentido (CARVALHO, 2023).

O aquecimento global no Brasil é uma realidade que demanda ação imediata e coordenada. A preservação da biodiversidade, a segurança alimentar, a gestão sustentável dos recursos hídricos e a mitigação das emissões de gases de efeito estufa são desafios cruciais que exigem esforços concertados do governo, da sociedade civil e do setor privado. Ao enfrentar esses desafios de maneira proativa, o Brasil pode contribuir significativamente para a construção de um futuro mais sustentável e resiliente diante das mudanças climáticas globais (CARVALHO, 2023).

2.2.2 Programa Brasileiro de GHG Protocol - emissões de gases de efeito estufa

Com base nos dados de Monzoni Neto *et al* (2023), a lista foi desenvolvida seguindo a metodologia estabelecida pelo Programa Brasileiro GHG Protocol. Este processo inclui a consideração de vários aspectos importantes de acordo com especificações específicas, como a aplicação, adequação e validação das ferramentas utilizadas para contabilizar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) das empresas do setor industrial. Como parte desta contabilidade, é importante definir com precisão os limites organizacionais e operacionais e detalhar os cálculos. O objetivo desta medida é refletir de forma abrangente e precisa as emissões de gases com efeito de estufa associadas à indústria

Os resultados obtidos são apresentados de forma abrangente com informações aprofundadas, incluindo recomendações específicas para setores industriais e tecnológicos que podem reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Como parte do processo, foram feitas recomendações para orientar trabalhos futuros nesta área. Estas recomendações incluem possíveis melhorias na metodologia, consideração de novos parâmetros relevantes e exploração de abordagens inovadoras para análise e gestão de emissões de GEE num contexto industrial. Esta perspectiva prospectiva visa promover o desenvolvimento e a

melhoria contínuas das práticas de contabilização das emissões de gases com efeito de estufa no sector industrial (MONZONI NETO *et al.*, 2023).

O ano de 2008 viu o surgimento do Programa Brasileiro do Protocolo de Gases de Efeito Estufa, uma iniciativa que desempenhou um papel importante na adaptação dos métodos do Protocolo de Gases de Efeito Estufa à realidade brasileira. O seu âmbito inclui o desenvolvimento de ferramentas de concepção específicas para uma estimativa precisa das emissões de gases com efeito de estufa (GEE), bem como para a adaptação. Esta é uma colaboração comprovada e eficaz entre o FGVces e o WRI, bem como importantes instituições como o Ministério do Meio Ambiente, o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS), o Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (WBSCD) e os 27 fundadores.

O Programa Brasileiro GHG Protocol desempenha um papel importante no fornecimento de orientações específicas e ferramentas adaptadas ao contexto ambiental e industrial do Brasil. Esta parceria abrangente representa um compromisso conjunto de contribuir para a medição precisa e a gestão eficaz das emissões de GEE no cenário brasileiro e demonstra a importância das parcerias público-privadas na promoção da sustentabilidade ambiental. Ao longo de sua história, o programa se consolidou como referência nacional no tratamento de questões relacionadas às emissões de GEE e serve como um guia concreto para empresas e organizações comprometidas com a mitigação ambiental e climática no Brasil (GIL, 2021).

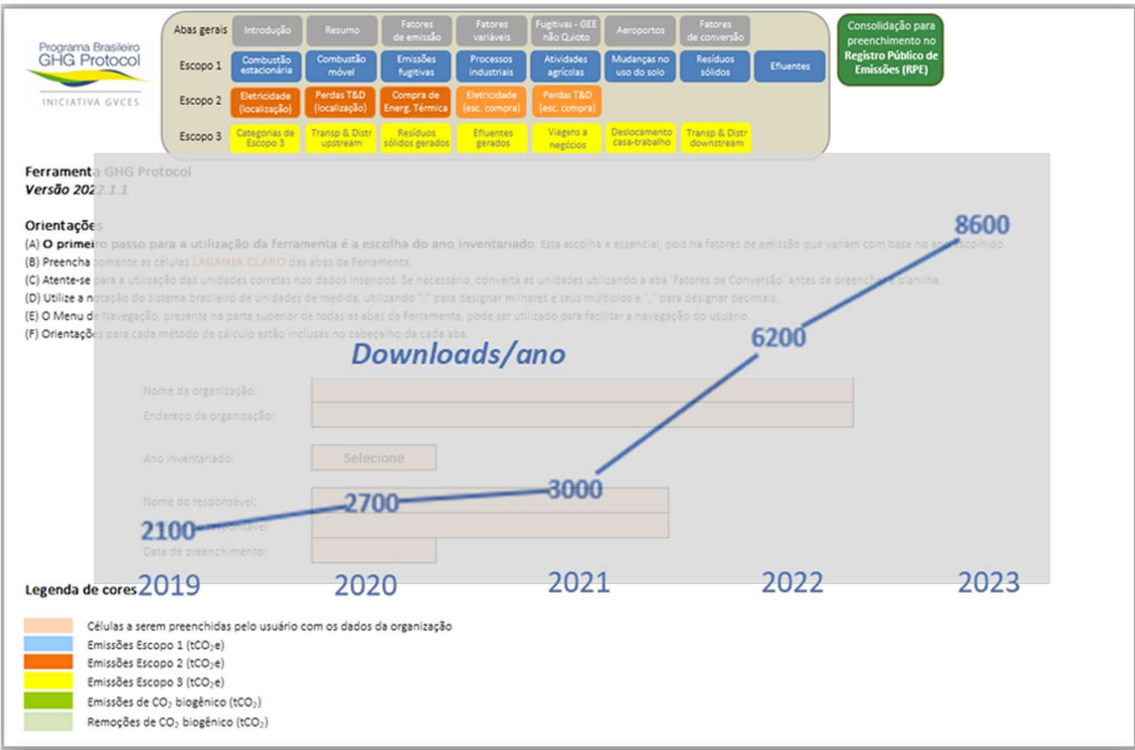
O objetivo é incentivar a cultura empresarial de registro de emissões de gases de efeito estufa no Brasil, oferecendo aos participantes acesso a ferramentas e padrões de qualidade globais para mensurar e divulgar as emissões em inventários. O inventário como ferramenta busca sua implementação ao longo do monitoramento dos dados, estabelecer metas e indicadores. Para obter: a redução de emissões, economia de recursos e aumento na eficiência. Para uma empresa, aderir essa gestão, a torna mais competitiva no mercado devido ao desenvolvimento de seu processo estar dentro da pegada de carbono de seus produtos e serviços, para o cliente. É uma ferramenta desenvolvida em resposta à crescente consciência do ambiente e da sua interligação com o contexto socioeconómico. Estas questões socioambientais destacam a necessidade de abordar especificamente as atuais formas de consumo e produção, dados os limites do nosso planeta.

Em 2023 o ciclo contou com a participação de 434 organizações membros e o Registro Público de emissões publicou 876 listagens, um aumento de 42% em relação ao ciclo de 2022. Semelhante ao ciclo anterior, esse aumento foi observado principalmente entre as empresas que publicam inventários completos cobrindo todas as fontes de emissões de Escopo 1 e 2 da organização (apresentando relatórios voluntários de emissões de Escopo 3). Além disso, muitas ações receberam o Selo Ouro. Estes resultados destacam o compromisso das

organizações em desenvolver inventários de alta qualidade de acordo com políticas de elegibilidade de inventário para fornecer altos padrões de dados de emissões à sociedade e às suas partes interessadas (MONZONI NETO *et al.*, 2023).

O PBGHG é referência no fomento da cultura de inventários de emissões de GEE no Brasil, gerando transparência e confiabilidade para os dados de emissões das organizações. Como consequência, em mais um ciclo a quantidade de inventários publicados e o número de membros cresceu de maneira significativa, demonstrando o interesse crescente das organizações em divulgarem suas emissões e apresentarem publicamente o seu engajamento na mensuração das emissões e busca por transparência.

Figura 4 - Evolução do número de downloads da ferramenta do Programa por ano.



Fonte: Monzoni Neto *et al.*, 2023.

2.2.2.1 GHG Protocol Escopos 1, 2 e 3

O *Greenhouse Gas Protocol* (GHG Protocol) é um conjunto de padrões internacionalmente aceitos para a mensuração e gestão de emissões de gases de efeito estufa (GEE). Criado pelo *World Resources Institute* (WRI) e pelo *World Business Council for*

Sustainable Development (WBCSD), o GHG Protocol fornece uma estrutura abrangente para a contabilidade e o reporte de emissões de GEE de organizações e projetos (ZANUZZO, 2023).

O inventário foi elaborado utilizando as orientações, especificações e notas técnicas constantes da Metodologia e Ferramentas do Protocolo de Gases de Efeito Estufa. Os fatores de emissão relevantes são derivados e baseados em publicações conhecidas, incluindo IPCC, DEFRA, EPA, MCTI etc. (CRUZ, 2020). Esta abordagem é utilizada para implementar o método proposto neste estudo de caso para testar e validar sua aplicabilidade.

Escopos de emissões do GHG Protocol:

As emissões de gases de efeito estufa (GEE) são classificadas em três áreas distintas para melhor compreensão e gerenciamento pelas organizações. O escopo inicial, conhecido como Escopo 1, abrange as emissões diretas provenientes de fontes que pertencem ou são diretamente controladas pela organização. Em termos práticos, isso inclui, por exemplo, a queima de combustíveis fósseis em equipamentos como caldeiras e fornos, além de carros que fazem parte da frota da organização. As emissões geradas por processos industriais específicos, como as que ocorrem em fábricas ou instalações de produção, e as emissões fugitivas, que são aquelas que são liberadas de forma voluntária na atmosfera, como vazamentos de gases refrigerantes em sistemas de ar-condicionado ou vazamentos de metano em instalações de gás natural (DINATO, 2022).

O Escopo 2 diz respeito às emissões indiretas de GEE que estão relacionadas ao uso de energia comprada pela empresa. Essas emissões não ocorrem nas instalações da organização, mas sim nas usinas e outros locais onde a eletricidade, o calor ou o vapor que a organização usa são gerados. Por exemplo, quando uma companhia compra energia elétrica da rede elétrica, as emissões de GEE que surgem da produção dessa energia nas usinas são registradas no Escopo 2 da organização. Da mesma forma, o calor ou vapor comprados de um fornecedor externo, que é usado para aquecer ou mover processos industriais, também está dentro deste escopo. Essa emissão é crucial, uma vez que, embora a empresa não tenha controle direto sobre as fontes de emissão, ela é responsável pelo consumo que resulta nessa emissão (RAULINO, 2018).

A classificação das emissões em escopos é crucial por diversos motivos. Primeiro, ela impede a dupla contagem de emissões, que pode ocorrer quando diferentes organizações reivindicam a responsabilidade pelas mesmas emissões. Além disso, essa classificação facilita a comparação entre organizações e setores, permitindo uma análise mais clara e precisa das práticas e impactos ambientais. Por último, a subdivisão em escopos auxilia as companhias a identificarem as principais fontes de emissão de GEE, permitindo-lhes focar

suas ações de redução nos pontos mais críticos e, consequentemente, otimizar suas táticas de mitigação (NAIS, 2023).

2.2.2.2 Normas e Parâmetros do Programa Brasileiro de GHG Protocol

No âmbito do Programa Brasileiro GHG Protocol, mesmo com as constantes evoluções e aprimoramentos, a contabilização, quantificação, elaboração e publicação de inventários de GEE, devem estar em consonância com os princípios gerais e comuns ao GHG Protocol Corporate Standard e a ABNT NBR ISO 14064 (DE ALMEIDA, 2021)

Foram adotadas diretrizes, recomendações e especificações relativas aos Inventários Corporativos de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). Dentre elas, podemos mencionar o Manual-Corporate de Accounting e Reportagem Standard (Corporate) 13 e o Manual-Corporate Value Chain (Scope 3) de Accounting e Reportagem Standard (14). Ademais, a organização utilizou a ABNT NBR ISO 14.064-1:2007, que trata dos gases de efeito estufa, fornecendo diretrizes e diretrizes para a determinação de quantidades e elaboração de relatórios de emissões e remoções de gases de efeito estufa. Essas diretrizes, que estão de acordo com as normas internacionais da ISO, foram a base para o desenvolvimento e a execução dos inventários (WRI Brasil, 2024)

A utilização desses padrões e normas consolidados proporciona uma estrutura sólida para a elaboração dos inventários corporativos de GEE. O GHG Protocol-Corporate Accounting and Reporting Standards (Corporate Standard) 13 e o GHG Protocol-Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard¹⁴ são reconhecidos internacionalmente como importantes referências para a contabilização e relato das emissões de GEE. A ABNT NBR ISO 14.064-1:2007, que é baseada na norma ISO correspondente, fornece diretrizes específicas para as empresas brasileiras, o que torna a conformidade com os padrões globais mais fácil (WRI Brasil, 2024)

As regulamentações do GEE, definem a importância do que é medido e gerido, promover e facilitar a interação de informações sobre os dados, fazer um inventário rigoroso de GEE é também um pré - requisito, no estabelecimento de uma meta de GEE, interna ou pública e para, consequentemente, medir e relatar o progresso, montando um inventário que seja sempre avaliado com dados precisos, gerindo os riscos de GEE e identificando oportunidades de melhoria e redução, com aporte sustentável, econômico e social. Colocando em evidência, o entendimento dessa ferramenta consiste para a única finalidade

de melhoria contínua, das emissões antrópicas, entender todo os escopos, processos dentro de uma empresa de máquinas agrícolas (RODRIGUES, 2023).

O Cadastro de Gases de Efeito Estufa disponibiliza essa medida como estratégia para controlar, reduzir e compreender as circunstâncias, processos e necessidades da sua empresa. A ferramenta inclui coleta de dados com o objetivo de fornecer informações de forma transparente, permitindo uma visão clara dos cenários reais de emissões de gases de efeito estufa. O Protocolo de Gases de Efeito Estufa é uma estrutura reconhecida internacionalmente que estabelece padrões para cálculo, comunicação e gestão de emissões de gases de efeito estufa para empresas, organizações e governos. O GHG Protocol é amplamente aceito como base para sistemas de gestão de emissões em todo o mundo (MENEZES, 2022).

O Protocolo de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GHG Protocol) do Brasil reconhece que elaborar um inventário é um processo em constante evolução. Por isso, encoraja empresas com inventários em diferentes estágios de desenvolvimento a se associarem e compartilharem suas emissões. Com o objetivo de ressaltar as diversas etapas de aprimoramento e promover melhorias contínuas na elaboração de inventários empresariais, o Programa Brasileiro estabeleceu um sistema de certificação, categorizando os inventários como Bronze, Prata ou Ouro (FGVces, 2022).

Bronze - Inventário Parcial

Com o intuito de incentivar uma maior participação e capacitação, as empresas envolvidas no Programa têm a possibilidade de compartilhar um relatório parcial dentro do escopo do Programa Brasileiro GHG Protocol. As empresas que optarem por divulgar um relatório parcial devem detalhar quais setores, fontes e gases não foram incluídos no relatório, os quais, conforme as diretrizes do Programa Brasileiro GHG Protocol, deveriam ser considerados no inventário completo. Para garantir a transparência na apresentação dos inventários, os relatórios parciais divulgados pelo Programa Brasileiro GHG Protocol devem ser claramente identificados como "Parciais", distinguindo-se, portanto, dos relatórios completos de emissões de gases de efeito estufa.

Além disso, caso você opte por tornar públicas algumas ações, elas serão classificadas como ações bronze. Depois de lançar o primeiro inventário completo, uma empresa não poderá mais enviar inventário parcial ao programa nos anos subsequentes, a menos que a organização solicite aprovação de exceção do programa para lançar inventário parcial.

Prata – Inventário Completo

A totalidade desempenha um papel crucial no processo de registro e divulgação de relatórios no âmbito do Programa Nacional GHG Protocol. Ao criar um inventário de Gases do Efeito Estufa (GEE), é fundamental assegurar a inclusão abrangente de todas as emissões provenientes de fontes localizadas dentro dos limites geográficos estabelecidos pelo Programa, bem como dentro dos limites organizacionais e operacionais da empresa participante. O reconhecimento público de um inventário como "Inventário Prata" acontece quando todas as informações exigidas indicadas nas "Especificações do Programa Nacional GHG Protocol - EPB" são adequadamente abordadas. Conforme apresentado no capítulo 7 destas diretrizes, os integrantes do Programa têm a responsabilidade de divulgar seus inventários de emissões, detalhando todos os critérios essenciais para a elaboração de um inventário completo, de acordo com o Programa Nacional GHG Protocol, assim como os elementos do relatório que devem ser disponibilizados ao público.

Dessa forma, é crucial manter a transparência e seguir todas as normas estabelecidas para garantir a confiabilidade e eficiência dos inventários de GEE no âmbito do Programa Brasileiro GHG Protocol. O comprometimento em cumprir todas essas diretrizes não só ajuda na validação dos inventários perante a sociedade, mas também reforça a confiança e responsabilidade no contexto mais amplo da administração de emissões e mudanças climáticas.

Ouro - Inventário Completo, verificado por terceira parte acreditada pelo Inmetro

A obtenção do status "Inventário Ouro" é para aqueles que, além de atenderem integralmente aos requisitos para serem classificados como "Inventário Prata", foram verificados por terceiro independente reconhecido pelo Inmetro². Para as empresas participantes do programa, é importante selecionar cuidadosamente as unidades de verificação, sendo recomendada uma análise histórica completa, conhecimento do mercado e experiência específica na verificação do inventário de gases de efeito estufa (GEE) de uma empresa. Para aumentar a transparência e robustez do processo, o Programa desenvolveu a "Especificação de Verificação do Programa Brasileiro GHG Protocol", uma diretriz para verificação independente de registros. Esta especificação complementa a "Especificação do Programa para o Protocolo Brasileiro de Gases de Efeito Estufa" e tem como objetivo detalhar os requisitos mínimos para esta verificação independente.

Para garantir a confiabilidade e conformidade contábil, a metodologia do Programa Brasileiro GHG Protocol é baseada nos cinco princípios fundamentais da contabilidade e relato de GEE. Esses princípios incluem: Conformidade regulatória, garantindo que o inventário reflita com precisão os limites da empresa. Completar, registrar e reportar todas as fontes e atividades de emissões de GEE. Mantenha a consistência usando uma metodologia consistente ao longo do tempo. A transparência, a resolução coordenada e precisa e a

exatidão de todas as questões relevantes garantem que a quantificação das emissões seja precisa e livre de erros, minimizando a incerteza. Além disso, para garantir a integridade do processo de elaboração da lista, são seguidas etapas metodológicas e conceituais, como definição de limites organizacionais, seleção de métodos de cálculo e verificação independente.

O processo de preparação do inventário segue os padrões e princípios discutidos anteriormente em relação à contabilidade e relatórios mencionados no “GHG Protocol” brasileiro. Este princípio inclui elementos importantes como a transparência, que garante clareza e visibilidade ao processo. Conformidade regulatória, garantindo que o inventário reflita com precisão a realidade do negócio. Completar, registrar e relatar todas as fontes e atividades de emissões de gases de efeito estufa (GEE). Mantenha a consistência usando uma única metodologia ao longo do tempo. e precisão, garantindo que a quantificação das emissões seja precisa e livre de erros. O fundo garante que o inventário atenda às melhores práticas e promove a confiabilidade e integridade das informações sobre emissões de GEE, conforme mostrado os princípios da Figura 5.

Figura 5 - Princípios gerais enunciados pelo IPCC, GHG Protocol e na ABNT NBR ISO 14.064-1.



Fonte: Instituto Ethos - Guia metodológico para inventário de emissões de Gases de Efeito Estufa na engenharia e construção, 2019.

2.2.2.3 Definir os limites operacionais e organizacionais do inventário

As estruturas e funcionamentos das empresas podem variar bastante de uma para outra. Por isso, é fundamental que cada organização estabeleça de maneira clara os limites nos quais suas emissões de gases de efeito estufa (GEE) serão registradas e consolidadas. Essa abordagem precisa ser mantida consistentemente ao longo do tempo para assegurar uma análise imparcial e precisa das emissões. Os limites organizacionais se referem a quais unidades ou instalações serão incluídas no inventário de emissões de GEE. Para a realização desses inventários, que serão posteriormente reportados, é essencial considerar os sete gases regulados pelo Protocolo de Quioto, os quais são liberados devido tanto às operações diretas quanto indiretas das organizações, sendo reconhecidos globalmente como gases de efeito estufa. A quantidade de gases emitidos é medida em toneladas de dióxido de carbono

equivalente (tCO₂e), levando em consideração seus respectivos impactos no aquecimento global (PAG/GWP) (SILVA, 2023).

Cada empresa é dividida em Emissões Diretas (sob controle direto da empresa) ou Emissões Indiretas (ligadas às atividades da empresa, mas provenientes de fontes controladas por outras empresas, como uma frota terceirizada), conforme as regras do GHG Protocol. Além disso, as emissões são classificadas em três "escopos" (Escopo 1, Escopo 2 e Escopo 3). O GHG Protocol é a principal ferramenta globalmente utilizada para compreender, quantificar e gerir as emissões de gases de efeito estufa. Para elaborar inventários empresariais, o GHG Protocol estabelece passos fundamentais, que incluem a definição dos limites organizacionais e operacionais, a escolha da metodologia de cálculo, a coleta de dados, o cálculo das emissões e a elaboração do relatório final (SANTOS, 2016).

Essa metodologia é amplamente empregada para compreender, quantificar e administrar as emissões. Para conduzir inventários empresariais, o GHG Protocol estabelece seis etapas cruciais: definir os limites organizacionais do inventário, estabelecer os limites operacionais, escolher a metodologia de cálculo e os fatores de emissão apropriados, coletar dados das atividades emissoras de GEE, realizar os cálculos das emissões, e elaborar o relatório final das emissões de GEE (FRAGALLE, 2024).

2.2.3 A economia interligada com o aquecimento global: desafios e oportunidades

A interdependência entre a economia e o aquecimento global emergiu como uma questão de crescente relevância em todo o mundo. O contínuo crescimento da economia global está profundamente entrelaçado ao aumento das emissões de gases de efeito estufa, agravando as preocupações com as mudanças climáticas. Nesse contexto, este estudo examina a complexa dinâmica entre esses dois fenômenos, ressaltando os desafios significativos que essa conexão impõe, ao mesmo tempo em que identifica oportunidades estratégicas para fomentar um desenvolvimento econômico mais sustentável. À medida que a economia mundial avança, os efeitos das mudanças climáticas se tornam mais pronunciados, refletindo a relação direta com o incremento das emissões (LOOSE, 2021).

As indústrias realizam uma análise que vai além dos desafios imediatos, como a necessidade de reduzir as emissões, e também ressalta as oportunidades decorrentes da promoção de soluções inovadoras e práticas sustentáveis. Essas oportunidades não se limitam apenas a mitigar os impactos negativos do aquecimento global, mas também a

estabelecer caminhos para um crescimento econômico que respeite e proteja o meio ambiente (CALDEIRA, 2020).

De acordo com Da Cunha Ferreira (2023), a interação entre os consumidores e o mercado está passando por transformações significativas, à medida que as preocupações dos clientes se expandem além do produto final e englobam todo o processo de produção. Hoje, os consumidores estão cada vez mais atentos à sustentabilidade, questionando não apenas a qualidade dos produtos, mas também as práticas ecológicas adotadas pelas empresas. Nesse contexto, surge uma necessidade crescente para que as organizações avaliem e comuniquem de forma clara e transparente como seus produtos são fabricados, utilizando abordagens sustentáveis para atender às exigências cada vez mais rigorosas dos consumidores.

A conscientização ambiental não apenas impacta a reputação de uma empresa, mas também estimula a inovação no setor. Com o aumento da demanda por produtos sustentáveis, as empresas são desafiadas a repensar seus processos de produção para diminuir seu impacto ambiental. Essa transição para a sustentabilidade atende às expectativas dos consumidores e abre caminho para o desenvolvimento de práticas econômicas mais responsáveis, favorecendo um equilíbrio ambiental e social mais duradouro. Dessa forma, a relação entre empresas e consumidores finais evolui para uma dinâmica mais ética e consciente, na qual a transparência e a responsabilidade ambiental assumem um papel fundamental. Ao alinhar os interesses econômicos com a sustentabilidade, as empresas têm a chance de não apenas responder às demandas do mercado, mas também liderar iniciativas que promovam mudanças positivas rumo a práticas empresariais mais éticas e sustentáveis. (CARLINE, 2024).

O aquecimento global, em grande parte causado pelas atividades humanas, vem se tornando uma das ameaças mais sérias ao nosso planeta. A queima de combustíveis fósseis, o desmatamento e as práticas agrícolas intensivas são os principais responsáveis pelas emissões de gases de efeito estufa. Essas atividades econômicas estão no cerne da economia global, mas também desempenham um papel crucial na complexa relação entre o desenvolvimento econômico e os impactos ambientais negativos (DA SILVA, 2021).

Dada a ligação intrínseca entre a produção econômica e as práticas que contribuem para as alterações climáticas, a interdependência entre a economia e o aquecimento global é inegável. O desafio consiste em encontrar uma abordagem sustentável para reduzir as emissões nocivas para o ambiente e encontrar um equilíbrio entre o crescimento econômico necessário. Portanto, é importante compreender e abordar os dilemas da atividade econômica e dos impactos ambientais se quisermos construir um futuro mais sustentável e resiliente (ALVES; AZEVEDO, 2024).

A economia global ainda depende fortemente de combustíveis fósseis, como petróleo, carvão e gás natural, que são grandes fontes de emissões de CO₂ (OTONI, 2023). Reduzir essa dependência é um desafio complexo, pois esses recursos são essenciais para o funcionamento de diversos setores econômicos. As mudanças climáticas afetam as cadeias globais de abastecimento, causando interrupções significativas na produção e na distribuição de bens e serviços, o que resulta em custos mais elevados para empresas e consumidores. Os impactos do aquecimento global, contudo, não são distribuídos de forma uniforme. Comunidades vulneráveis, frequentemente situadas em regiões de baixa renda, enfrentam grandes desafios, como inundações, secas e perda de fontes de subsistência, ampliando as desigualdades econômicas.

O Protocolo Brasileiro de Gases de Efeito Estufa é uma importante colaboração entre o Centro de Pesquisa em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas (FGVces), o *World Resources Institute* (WRI), o Ministério do Meio Ambiente (MMA) e o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS) e o Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (WBCSD). Esta iniciativa conjunta destaca o compromisso de vários atores-chave em encontrar uma abordagem eficaz e integrada para enfrentar os desafios associados às emissões de gases de efeito estufa no Brasil. Estas parcerias entre agências destacam a importância de uma abordagem holística e colaborativa para encontrar soluções sustentáveis.

Ao unir forças, estas organizações trabalham para desenvolver estratégias de redução de emissões, bem como promover a sensibilização e implementação de ações práticas que contribuam para a redução das alterações climáticas. Esta colaboração exemplar reflete a necessidade de uma ação coordenada e baseada no conhecimento para enfrentar os complexos desafios ambientais que o nosso país e o mundo enfrentam.

Aderir aos padrões e metodologias de contabilidade de GEE reconhecidos internacionalmente para aumentar a credibilidade do Programa. Facilita a compatibilidade com outros cadastros e simplifica a participação entidades que já seguem as melhores práticas. Garantir a criação de inventários consistentes de emissões absolutas ao longo do tempo, pois as emissões relativas não acompanham os dados absolutos problema são considerados insuficientes para avaliar a contribuição da organização para as mudanças climáticas (DINIZ, 2021).

Para compreender a abordagem específica em cada situação, é importante fazer uma distinção clara e válida entre os cálculos de emissões de gases de efeito estufa do projeto e da organização. A contabilidade do projeto centra-se na avaliação do impacto das emissões de gases de efeito estufa de um plano de mitigação específico. Este processo envolve uma estrutura diferente daquela utilizada na preparação do inventário corporativo porque se concentra na medição dos resultados diretos e indiretos de atividades específicas, em

oposição à abordagem mais abrangente e contínua associada à contabilidade organizacional (SILVA, 2023).

O histórico do projeto mostra uma abordagem mais direcionada para analisar os impactos ambientais de medidas específicas de redução de emissões. Esta abordagem específica do projeto permite avaliar com mais precisão os resultados alcançados por iniciativas específicas, fornecendo informações valiosas para melhorar futuras estratégias de mitigação. Desta forma, as diferenças entre a contabilidade de projetos e a contabilidade empresarial refletem a necessidade de adaptar ferramentas de medição a diferentes escalas e objetivos e de reconhecer a diversidade de situações em que as emissões de gases de efeito estufa são geradas e reduzidas (DINIZ, 2021).

É importante aderir ao programa existente no Brasil para inventário e preparação de gases de efeito estufa, evitando a duplicação de estruturas de informação. Este compromisso visa otimizar a eficiência dos processos, evitar duplicações desnecessárias de dados e promover uma abordagem integrada para satisfazer as necessidades específicas das situações dos países. Essa sincronização é essencial para a relevância e o uso prático das informações, especialmente para setores-chave da economia brasileira (CRUZ, 2020).

É dada atenção à consistência das práticas contábilísticas relacionadas com as emissões de gases de efeito estufa, evitando a criação de estruturas duplicadas. Isto não só facilita o cumprimento dos programas existentes, mas também aumenta a utilidade da informação obtida. A importância dos principais setores econômicos do Brasil é enfatizada, e a importância de adaptar as práticas contábeis e a contabilização de emissões para atender às especificidades e aos desafios de cada setor é reconhecida. Esta abordagem estratégica visa construir uma base sólida para a gestão ambiental, equilibrando simultaneamente a necessidade de informação detalhada com a eficiência operacional e ligações com os principais intervenientes econômicos do país (DINIZ, 2021).

O apoio à inovação desempenha um papel fundamental na criação de soluções eficazes e sustentáveis para o problema das alterações climáticas. Através dos mecanismos técnicos e financeiros do Acordo, esforçando por criar um ambiente propício à cooperação global e promover o intercâmbio de conhecimentos e recursos para fomentar o progresso tecnológico (GUTERRES, 2023).

Aumentar a eficácia na resposta às mudanças climáticas requer não apenas soluções imediatas, mas também garantir que os países em desenvolvimento tenham acesso equitativo às inovações tecnológicas, capacitando-os para enfrentar os desafios climáticos desde cedo. Colocar a inovação como um pilar central da resposta climática abre espaço para soluções sustentáveis e adaptáveis, promovendo uma abordagem integrada que harmoniza progresso tecnológico e justiça global. Assim, colaboração e investimento em pesquisa e

desenvolvimento tornam-se compromissos essenciais para construir um futuro mais resiliente e sustentável diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas (COSTA, 2022).

2.2.3.1 Acordo de Paris 2015 no Brasil

O Acordo de Paris, ratificado na 21.^a Conferência das Partes (COP21) na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas (CQNUAC) em dezembro de 2015, é uma conquista global na luta contra as alterações climáticas. O acordo estabelece orientações importantes para a redução das emissões de dióxido de carbono a partir de 2020, com o objetivo de reforçar a resposta global à ameaça das alterações climáticas e desenvolver a capacidade dos países para lidar com as consequências destas mudanças. Um dos principais objetivos do acordo é o compromisso do governo de manter o aumento das temperaturas médias globais abaixo de 2°C acima dos níveis pré-industriais e de estabelecer metas adicionais para limitar o aumento a 1,5°C.

O cumprimento do Acordo de Paris constitui o compromisso coletivo da comunidade internacional para enfrentar os desafios colocados pelas alterações climáticas e reconhece a necessidade urgente de medidas concretas. Definindo metas ambiciosas, o acordo visa preparar o caminho para a transição para uma economia hipocarbônica e promover a sustentabilidade ambiental e a resiliência global. Além disso, reflete o entendimento compartilhado de que a cooperação internacional é essencial para enfrentar estes desafios complexos, combinando os esforços de muitos países para encontrar um futuro mais sustentável e seguro. O Acordo de Paris é um acordo histórico para países de todo o mundo trabalharem juntos para limitar as alterações climáticas. Este acordo desempenha um papel importante na criação de um caminho sustentável e sustentável para as gerações futuras, estabelecendo objetivos claros e promovendo a cooperação global (BASTOS, 2023).

O Acordo de Paris, um acordo global adotado na 21.^a Conferência das Partes na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas (COP27), em dezembro de 2015, estabelece orientações importantes para a redução das emissões de dióxido de carbono até 2020. A sua principal missão é reforçar a resposta global à ameaça das alterações climáticas, reforçando simultaneamente a capacidade dos países para lidar com as consequências destas mudanças. Um dos principais objetivos do tratado é manter o aumento das temperaturas médias globais "bem abaixo dos 2°C" acima dos níveis pré-industriais, com um objetivo adicional de limitar o aumento a 1,5°C (BASTOS, 2023).

Conforme o Conselho da União Europeia e do Conselho Europeu (2024), para atingir estes objetivos, os países adotaram a abordagem de submeter Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC), que são planos de ação nacionais abrangentes destinados a reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Comprometendo-se com esse plano, o governo brasileiro estabeleceu metas importantes em sua NDC. Inicialmente propôs uma redução de 37% nas emissões até 2025, com uma meta subsequente de redução de emissões em 50% até 2030, em comparação com as emissões esperadas em 2005. Esta abordagem reflete o compromisso do Brasil de desempenhar um papel importante na mitigação das mudanças climáticas. Contribui para alcançar as metas ambiciosas estabelecidas no Acordo de Paris.

O Acordo de Paris não só estabelece objetivos, mas também procura mobilizar uma série de esforços para alcançá-los. Os países signatários comprometem-se a desenvolver e implementar políticas nacionais para reduzir as emissões, promover a resiliência climática e fornecer apoio financeiro aos países mais vulneráveis para enfrentar os desafios climáticos. Este tratado reflete o reconhecimento da responsabilidade comum na luta contra as alterações climáticas e visa criar uma base sólida para a cooperação internacional neste domínio. Apesar destes esforços e compromissos internacionais, a implementação eficaz dos objetivos do Acordo de Paris ainda enfrenta desafios significativos. Continuar e reforçar estes compromissos é essencial para enfrentar a complexidade das alterações climáticas e promover a sustentabilidade global (Conselho da União Europeia e do Conselho Europeu, 2024).

2.2.4 Indústrias no Brasil e a preocupação nas emissões de gases de efeito estufa

A análise do estado da arte da gestão de emissões na indústria brasileira revela um cenário de dualidades. Observa-se um movimento crescente em direção a práticas mais sustentáveis e ganhos de eficiência, dissociando, em parte, o crescimento produtivo do aumento das emissões. Contudo, este progresso coexiste com o desafio da baixa adesão generalizada aos inventários de GEE, onde a prática de mensuração e reporte público ainda se mostra mais como uma exceção do que uma regra no universo corporativo. Esta seção, portanto, explora essa dinâmica, abordando os avanços e as lacunas do panorama industrial do país.

De acordo com o Sumário Executivo da Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas (2020), o setor industrial responde por aproximadamente 6,4% das emissões de GEE do país. Esse índice posiciona a indústria

nacional de forma competitiva no cenário global, refletindo esforços relevantes para cumprir as metas estabelecidas no Plano da Indústria 2021. Esse resultado evidencia o compromisso do setor industrial brasileiro em atender às obrigações assumidas no pacto firmado em 2015 pelos países membros da ONU durante a Conferência de Sendai, com objetivos a serem alcançados até 2030. O Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (2022) informou que em 2021 as emissões de gases de efeito estufa no Brasil foram de 2,42 bilhões de toneladas brutas de gás carbônico. De acordo com o relatório, o maior aumento nas emissões foi registrado em 2003, quando o Brasil atingiu um recorde histórico nesse indicador.

Ainda, de acordo com o Sumário Executivo, a análise desagregada da matriz energética mostra que a indústria brasileira tem adotado estratégias mais sustentáveis que ajudam a mitigar os impactos ambientais associados às emissões de gases de efeito estufa. Estes esforços são particularmente importantes dados os objetivos e compromissos do país estabelecidos em fóruns internacionais para reduzir as emissões e promover práticas industriais mais sustentáveis. A posição favorável da indústria brasileira nesse sentido destaca a importância de políticas e práticas que incentivem a eficiência energética, o uso de fontes de energia renováveis e a inovação tecnológica, como um importante componente de um desenvolvimento industrial mais sustentável e alinhado às metas globais de combate às mudanças climáticas.

De acordo com as estatísticas de 2022 do Cadastro Central de Empresas (CEMPRE), divulgadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), existem no Brasil 9.431.239 empresas registradas. Dentre essas, segundo o Registro Público de Emissões mantido pela Fundação Getúlio Vargas (2024), pouco mais de 4.000 participam do grupo que reportam suas emissões de GEE. Diante deste ínfimo percentual, destaca-se a importância do incentivo à adesão de mais empresas a essa ação.

Dados da Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2018) constata-se que entre 2005 e 2014 as emissões do setor industrial aumentaram 19%, sendo este um aumento modesto em comparação com o aumento de 23% no produto interno bruto (PIB) industrial durante o mesmo período. A análise mostra que há uma tendência de maior eficiência no setor industrial brasileiro em termos de emissões por unidade de produção, uma vez que o crescimento econômico não se traduz em um aumento correspondente nas emissões de GEE. Ao olhar para o período mais amplo, de 2000 a 2014, observa-se uma redução significativa de aproximadamente 11% nas emissões totais relacionadas com a indústria, quando são consideradas as emissões de energia e as emissões relacionadas com os processos industriais. O declínio relativo das emissões em relação ao PIB industrial destaca o progresso alcançado na dissociação do crescimento econômico da intensidade das emissões, indicando que o setor industrial brasileiro adotou práticas sustentáveis e eficientes.

Esses indicadores, ainda conforme o autor, descrevem os avanços alcançados pelo setor industrial brasileiro no controle das emissões de GEE e na promoção de uma relação mais eficaz entre o crescimento econômico e o impacto ambiental, por meio da busca por um desenvolvimento econômico sustentável. Estes esforços refletem não só a necessidade de cumprir os compromissos ambientais, mas também a procura de uma abordagem industrial mais responsável ao desafio global do combate às alterações climáticas. Estudos realizados pelo *World Resources Institute* (WRI) destacam o desempenho positivo da indústria brasileira em termos de eficiência de emissões de GEE dos processos industriais do país em comparação com o mundo. Analisando as emissões por milhão de dólares do PIB em 2010, o Brasil registrou um valor de 16,29 toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO₂e) por milhão de dólares de PIB. Esta classificação é inferior à média observada no G7, com um total de 42,68 tCO₂e por milhão de dólares de PIB, e nos BRICS, com uma média de 35,32 tCO₂e por milhão de dólares de PIB.

O Brasil tem feito avanços nas metas de redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) no setor industrial, com esforços para melhorar a eficiência energética, promover o uso de energias renováveis e adotar práticas de baixo carbono. A Confederação Nacional da Indústria (2023), em parceria com o governo e outras entidades, busca a implementação de um mercado regulado de carbono, que visa precificar as emissões de GEE e estimular práticas sustentáveis no setor. Essa medida foi proposta para alinhar o Brasil às práticas internacionais e contribuir para a mitigação dos impactos climáticos, com o objetivo de movimentar a economia e gerar receita através da regulação das emissões de carbono. Entre as iniciativas, o Plano de Retomada da Indústria da CNI estabeleceu metas para aumentar o uso de fontes renováveis na matriz energética industrial, visando atingir 75% de energia renovável até 2032. Além disso, a implementação de tecnologias de captura e armazenamento de carbono, assim como a adoção de práticas de economia circular, são incentivadas para reduzir a dependência de recursos naturais e otimizar o uso de resíduos no setor.

Porém, o setor industrial enfrenta um significativo gap de dados no reporte de emissões de gases de efeito estufa (GEE), dificultando a compreensão do impacto climático do setor e a elaboração de políticas efetivas. Embora grandes empresas e setores regulados realizem inventários de GEE, muitas pequenas e médias indústrias não monitoram suas emissões regularmente, deixando lacunas importantes. A baixa adesão a protocolos padronizados, a falta de infraestrutura e a capacitação técnica limitada agravam a situação, especialmente em áreas remotas. Além disso, a ausência de um marco regulatório robusto e a transparência limitada nos dados de emissão fazem com que muitas empresas mantenham essas informações de forma interna, sem divulgação pública ou auditoria independente. A superação desse gap requer políticas públicas que incentivem a padronização, apoio à

capacitação e infraestrutura para monitoramento e criação de marcos regulatórios claros, além de benefícios para as empresas que aderem ao reporte transparente e regular de emissões (CNI,2023).

A indústria brasileira busca superar as metas de redução de emissões de gases de efeito estufa, o que pode dificultar o progresso rumo à sustentabilidade ambiental. No entanto, o planejamento de metas industriais reflete um compromisso com a redução de emissões e práticas sustentáveis. Isso destaca a importância de implementar políticas e estratégias que incentivem práticas industriais responsáveis, garantindo um futuro mais sustentável e resiliente.

2.2.4.1 Emissões de gases de efeito estufa na indústria automobilística

O processo de produção de veículos é uma das atividades industriais mais intrincadas e energeticamente intensivas, englobando uma extensa cadeia de suprimentos que, no conjunto, gera uma contribuição significativa para as emissões de GEE. Desde a extração das matérias-primas essenciais até a entrega final do automóvel ao consumidor, cada fase desse processo apresenta implicações ambientais que vão muito além das emissões diretas associadas ao uso do veículo. Isso implica uma análise abrangente das emissões geradas em cada etapa, reconhecendo que o impacto ambiental da indústria automobilística se estende por todo o ciclo de vida do produto (HATTORI; NAM; CHAPMAN, 2022).

A jornada de um veículo inicia-se com a extração de materiais essenciais, como aço, alumínio e plásticos, que são fundamentais para sua produção. Essa etapa é caracterizada pela mineração, um processo que é intensivo em carbono e que gera impactos no meio ambiente. A extração e o processamento desses materiais demandam grandes quantidades de energia, que frequentemente provêm de fontes de combustíveis fósseis, resultando em emissões expressivas de CO₂. Estudos indicam que a produção de aço, um dos principais componentes utilizados na fabricação de veículos, é responsável por cerca de 7-9% das emissões globais de GEE. Esse dado sublinha a necessidade de implementar abordagens sustentáveis na mineração e no processamento de materiais. A adoção de práticas mais responsáveis pode não apenas reduzir a pegada de carbono associada à produção de aço, mas também promover uma maior eficiência na utilização de recursos (HASANBEIGI, 2022).

O processo de montagem de veículos dentro de uma fábrica é uma fase crítica da produção automobilística e, ao mesmo tempo, uma fonte significativa de emissões de GEE. Essa etapa envolve diversas atividades, incluindo a montagem dos componentes mecânicos

e elétricos, bem como a aplicação de pintura, cada uma contribuindo para a pegada de carbono do produto final (PEDRETI, 2024). Durante a montagem, os veículos passam por várias estações onde os componentes são unidos e instalados. Essa operação não apenas requer uma quantidade considerável de energia elétrica, geralmente oriunda de fontes não renováveis, mas também pode gerar emissões associadas a maquinários pesados e processos automatizados. O uso de robôs e sistemas automatizados para a montagem pode melhorar a eficiência, mas a dependência de eletricidade ainda resulta em emissões diretas e indiretas de GEE (BRANCO-TEIXEIRA, 2023).

A aplicação de pintura é uma das etapas mais intensivas em termos de emissões dentro do processo de montagem. Os produtos químicos utilizados nas tintas e solventes emitem compostos orgânicos voláteis (COVs), que não apenas afetam a qualidade do ar, mas também contribuem para a formação de ozônio troposférico, um potente gás de efeito estufa. Além disso, a secagem das pinturas, que muitas vezes envolve o uso de fornos a altas temperaturas, demanda grandes quantidades de energia, intensificando ainda mais a emissão de CO₂ (DE OLIVEIRA, 2024).

A produção de veículos pode resultar em emissões significativas ao longo de toda a linha de montagem, estimando-se que as fábricas possam ser responsáveis por até 30% das emissões totais associadas a um veículo, dependendo das práticas adotadas. Esse dado ressalta a importância de implementar tecnologias mais limpas e processos de produção mais sustentáveis (ZAMBRANO, 2024).

Para mitigar o impacto ambiental durante a montagem e pintura, muitas montadoras estão investindo em práticas mais ecológicas, como a utilização de tintas à base de água, sistemas de recuperação de solventes e a adoção de energias renováveis para a operação das fábricas. Essas iniciativas visam não apenas reduzir as emissões de GEE, mas também atender à crescente demanda dos consumidores por veículos mais sustentáveis (SILVA, 2021).

2.2.4.2 Energia da biomassa

A energia de biomassa, que utiliza a madeira como fonte, é uma forma de energia renovável amplamente empregada desde tempos antigos. Esta fonte energética é gerada pela queima ou decomposição da madeira e seus derivados, podendo ser aproveitada para aquecimento, geração de eletricidade e como combustível para transporte (NOGUEIRA, 2023).

Existem várias formas de converter a madeira em energia. A mais tradicional é a combustão direta, onde a queima da madeira produz calor. Esse calor pode ser utilizado para aquecer ambientes, cozinhar alimentos ou gerar vapor, que aciona turbinas para produzir eletricidade. Outra técnica é a gaseificação, onde a madeira é transformada em gás de síntese (syngas) por aquecimento com quantidade limitada de oxigênio. Esse gás pode ser usado para gerar eletricidade ou como combustível para motores. A pirólise é outro método, onde a madeira é aquecida na ausência de oxigênio, resultando em bi óleo e carvão vegetal. Por fim, há a digestão anaeróbica, que, embora mais comum com resíduos agrícolas, pode decompor a madeira em biogás usando microrganismos sem oxigênio (BERNARDO, 2022).

O uso da madeira como fonte de energia apresenta diversas vantagens. É um recurso renovável, desde que haja manejo sustentável com replantio de árvores; utilizar resíduos de madeira para energia também reduz o volume de materiais descartados em aterros; a biomassa de madeira pode ser considerada neutra em carbono, pois as árvores absorvem CO₂ durante o crescimento, equilibrando as emissões resultantes da queima (CORREIA, 2022). No entanto, há desvantagens e desafios associados ao uso da biomassa de madeira. A extração não sustentável pode levar ao desmatamento, perda de biodiversidade e degradação do solo. A combustão da madeira pode liberar poluentes como partículas, monóxido de carbono e compostos orgânicos voláteis, afetando a qualidade do ar e a saúde humana. Além disso, a eficiência energética da biomassa de madeira pode ser menor comparada a outras fontes de energia, especialmente com métodos de conversão menos eficientes (OLIVEIRA, 2024).

No mercado existem equipamentos como o aquecedor automático a pellets, uma solução inovadora e sustentável, projetada para queimar biomassa de forma eficiente e sem emissão de fumaça. Utilizando uma tecnologia exclusiva de queima limpa, o sistema realiza uma combustão completa, incinerando até mesmo a fumaça gerada diretamente na fornalha, o que elimina a necessidade de liberação de gases pela chaminé (TOPEMA, 2024).

Em resumo, a energia de biomassa a partir da madeira é uma alternativa viável e importante às fontes fósseis, com abundância de recursos florestais. Para ser verdadeiramente sustentável e benéfica, é crucial adotar práticas de manejo florestal sustentável, investir em tecnologias eficientes e controlar as emissões de poluentes. Essa adoção pode diversificar a matriz energética, promover o desenvolvimento e reduzir a dependência de combustíveis fósseis, desde que os desafios ambientais e sociais sejam gerenciados adequadamente.

3 CAPÍTULO 3

3.2 METODOLOGIA

3.2.1 Estudo de caso

Este estudo destaca a complexidade e a importância de parametrizar práticas sustentáveis diante das consequências dos gases de efeito estufa, que têm contribuído para registrar altas temperaturas em todo o mundo. Neste contexto, a indústria está a demonstrar uma abordagem proativa, enfatizando a relevância da medição precisa e da transparência dos dados ambientais. Ao adquirirem uma compreensão mais profunda das condições associadas às emissões antropogênicas de gases com efeito de estufa, as empresas podem aumentar os seus padrões de redução de emissões e definir metas mais eficazes, contribuindo assim eficazmente para a sustentabilidade ambiental.

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso único, de natureza quantitativa e qualitativa. O objetivo central foi aplicar a metodologia do Programa Brasileiro GHG Protocol para estruturar o primeiro inventário de emissões de uma indústria de máquinas agrícolas, analisando dados de um período de três anos para identificar as principais fontes emissoras.

Para tanto, o presente estudo de caso ocorreu em uma empresa de máquinas agrícolas que produz colhedoras de cana de açúcar e pulverizadores, tem como objetivo contabilizar o reporte das emissões de gases de efeito estufa, estruturar e montar um inventário de gases de efeito estufa, evidenciar a importância de ter os dados de emissão de gases de efeito estufa, assim evidenciar a problemática e assim analisar detalhadamente diferentes cenários, para redução destes. Isto nos permitirá observar as emissões atuais e identificar oportunidades para melhorias significativas.

A empresa define proativamente as suas próprias metas internas, sublinhando o seu compromisso com a responsabilidade ambiental. Ao concentrar-se num estudo de caso específico de uma empresa de maquinaria agrícola, a organização procurou obter uma compreensão mais profunda das suas emissões e identificar áreas específicas onde melhorias e reduções significativas poderiam ser implementadas. Esta abordagem

personalizada reflete o desejo da empresa de superar as expectativas regulamentares e contribuir positivamente para o desenvolvimento sustentável da sua indústria.

Em linha com os objetivos específicos traçados, é apresentada uma avaliação quantitativa e qualitativa abrangente através do inventário de emissões de GEE neste estudo de caso, dentro de uma indústria de máquinas agrícolas. A metodologia proposta visa fornecer uma análise completa e abrangente das emissões, tanto quantitativamente (envolvendo medição precisa das emissões) como qualitativamente (incluindo uma compreensão mais profunda dos fatores que influenciam). A análise quantitativa permitirá a recolha de dados precisos e mensuráveis sobre as emissões, enquanto os métodos qualitativos enriquecerão a compreensão dos fatores contextuais e dos impactos mais amplos. Esta estratégia abrangente contribuirá para uma avaliação abrangente das emissões de gases com efeito de estufa, proporcionando uma base sólida para identificar oportunidades de melhoria e implementar práticas mais sustentáveis.

3.2.2 Metodologia para elaboração do inventário

Para o inventário de emissões de gases de efeito estufa (GEE), foi adotado o Programa Brasileiro GHG Protocol (PBGHG), uma ferramenta desenvolvida em 2008 pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) para adaptar o renomado método internacional GHG Protocol ao contexto brasileiro. O PBGHG foi criado para apoiar empresas e instituições do país no cálculo de suas emissões de GEE, oferecendo ferramentas e diretrizes específicas para o Brasil (FGV, 2022).

A metodologia do PBGHG apresenta vantagens significativas: ela é compatível com as normas da Organização Internacional de Normalização (ISO), particularmente com a NBR ISO 14064, que estabelece normas para quantificação e reporte de emissões de GEE. Além disso, o programa segue as diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), garantindo uma padronização internacionalmente aceita e rigor científico nos cálculos de emissões (CNI, 2023).

Esses atributos fazem do PBGHG a principal escolha para o inventário de GEE no Brasil, promovendo transparência e alinhamento com os compromissos de mitigação climática e permitindo que as organizações nacionais relatem suas emissões com precisão e confiabilidade.

Para realizar o inventário de GEE, as seis etapas definidas pelo GHG Protocol nortearam este trabalho. O detalhamento do processo, respondendo às questões do avaliador sobre a execução da pesquisa, foi o seguinte:

- **Coleta de dados:** A coleta foi realizada no local da planta industrial, no ano de 2023. Foram requisitados dados de atividade mensais para o período de janeiro de 2021 à dezembro de 2023, permitindo a análise de sazonalidade e picos de consumo.
- **Instrumentos de coleta:** Os instrumentos utilizados para obter os dados foram principalmente registros internos da empresa, como faturas de energia elétrica, notas fiscais de compra de combustíveis GLP, diesel. Registros de manutenção e recarga do gás HFC R134-a.

3.2.2.1 Limites organizacionais e operacionais

Os limites organizacionais para o inventário de GEE envolvem a escolha de uma abordagem para coleta e consolidação das emissões, permitindo que a organização registre e reporte suas emissões de forma estruturada e transparente (FGV, 2022; CNI, 2023). Logo a elaboração deste inventário, levou em consideração as emissões dos processos de fabricação das colhedoras de cana de açúcar e pulverizadores, em uma indústria de máquinas agrícolas de Catalão Goiás. A indústria contém suas etapas de fabricação, sendo elas delimitados pelo processo de pintura, secagem e montagem da máquina.

A definição dos limites operacionais abrange a identificação das emissões e remoções de GEE associadas às atividades analisadas. Essas emissões são classificadas em três categorias: emissões diretas, emissões indiretas relacionadas ao consumo de energia e outras emissões indiretas. É essencial determinar quais dessas emissões indiretas serão quantificadas e reportadas, garantindo um inventário abrangente e alinhado com as melhores práticas internacionais (NBR ISO 14064, 2019).

Nesta pesquisa, os limites operacionais foram definidos pela identificação das emissões de GEE associadas às atividades da empresa, conforme estabelecido dentro dos limites organizacionais. Analisando, cada etapa de fabricação das máquinas agrícolas, assim considerando o escopo 1 e 2. Na etapa de preparação para pintura e secagem da peça, foi identificado o fator de emissão gás liquefeito de petróleo, principal combustível utilizado dentro da indústria, esse fator também é utilizado no abastecimento de empilhadeiras manuseados na fábrica. A montagem do produto foi identificada um gás refrigerante HFC R134-a fator de

emissão, para abastecimento do ar-condicionado da cabine da máquina. No processo de teste a máquina é abastecida com Rubilene, outro fator de emissão identificado.

A indústria conta com geradores abastecidos por diesel, um fator de emissão e com o abastecimento da energia elétrica para toda indústria fator de emissão compatível com escopo 2.

Os dados tiveram seguir uma ordem cronológica de 3 anos, levando em consideração 2021, 2022 e 2023.

Após a coleta, os dados mensais foram armazenados e tratados em planilhas do software Microsoft Excel. Foi elaborada uma estrutura com planilhas separadas para cada ano, contendo colunas para o mês, a fonte de emissão, o consumo (dado de atividade), a unidade de medida e o fator de emissão aplicável. Para o cálculo final e consolidação do inventário, foi utilizada a ferramenta oficial de cálculo disponibilizada pelo Programa Brasileiro GHG Protocol, onde os dados tratados foram inseridos para a quantificação das emissões em CO₂ equivalente.

3.2.3 Método de cálculo

Para obter os resultados, foi estabelecido um modelo para calcular as emissões de gases de efeito estufa (GEE), onde as emissões são normalmente expressas como a quantidade de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) emitida pela empresa. Cada gás de efeito estufa tem a capacidade de reter calor em determinada intensidade, o que pode ser comparada à capacidade do dióxido de carbono (CO₂) de desempenhar a mesma função. Essa comparação é expressa em termos de potencial de aquecimento global (PAG) (FGVces, 2022), conforme determinado pela eq.1.

Equação 1:

$$CO_2e = \sum (PAG_i * GEE_i) \quad (1)$$

Onde:

CO₂e = Emissões de GEE (unidade);

i = Gás de efeito estufa;

PAG = Potencial de Aquecimento Global do gás (ou GWP, em inglês) (unidade);

GEE = Massa do gás de efeito estufa (unidade).

3.2.3.1 Cálculo do consumo do óleo diesel e emissão de CO₂

Uma das funções da ferramenta de cálculo é determinar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) com base no consumo total de óleo diesel durante a produção. Isso elimina a necessidade de localizar o trabalho mecanizado. Segundo a WRI Brasil (2024), este cenário utiliza os fatores de emissão listados na Tabela 1 e o cálculo é feito conforme a seguinte relação:

$$CO_{2DIESEL} = Q_{DIESEL} * FE_{DIESEL} \quad (2)$$

Onde:

$CO_{2DIESEL}$ = emissão de CO₂ associada ao consumo de óleo diesel (kg CO₂);

Q_{DIESEL} = quantidade de óleo diesel consumida (L);

FE_{DIESEL} = fator de emissão do óleo diesel (kg CO₂/L).

Semelhante à esta relação, além das emissões de biodiesel, também são calculadas outras emissões de GEE. A avaliação das emissões é feita com base nos fatores de emissão listados na Tabela 1, os quais têm papel crucial na precisão do cálculo do impacto ambiental ligado à atividade em análise. Esses elementos são essenciais para assegurar uma avaliação precisa das emissões envolvidas, estabelecendo um fundamento sólido para a tomada de decisões e a adoção de estratégias apropriadas para redução.

Tabela 1 - Fatores de emissão de queima de óleo diesel (kg CO₂/L)

COMBUSTÍVEL	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Diesel	2,681	0,0003	0,00002
Biodiesel	2,499	-	-

Fonte: WRI Brasil - Metodologia do GHG Protocol da agricultura, 2024.

3.2.3.2 Cálculo do consumo de energia elétrica e emissão de CO₂

A quantificação das quantidades de CO₂ ligadas à produção de energia elétrica, essencial nos inventários, baseia-se nos coeficientes de emissão de dióxido de carbono específicos para a geração de energia. Esses coeficientes são derivados através da média das emissões de todas as usinas geradoras. Por meio do Sistema Interligado Nacional (SIN),

é simplificada a determinação das emissões em todas as áreas produtivas, ao multiplicar o consumo de energia pelos correspondentes coeficientes de emissão e somar os resultados. Esse valor total representa as emissões do SIN, permitindo uma estimativa precisa das emissões de energia elétrica produzida em um momento específico e enriquecendo os inventários gerais.

A equação (3) é empregada para calcular as emissões decorrentes da utilização de energia elétrica (WRI BRASIL, 2024).

Os fatores de emissões estão tabelados no anexo A.

$$CO_{2EE} = EE * EF \quad (3)$$

Onde:

CO_{2EE} = emissão de CO_2 (tCO_2);

EE = consumo de energia elétrica (MWh);

FE = fator de emissão nacional (tCO_2/MWh).

3.2.3.3 O dióxido de carbono equivalente (CO_2e)

O dióxido de carbono equivalente é uma medida empregada para padronizar as emissões de diversos gases de efeito estufa, levando em consideração a importância relativa de cada gás em relação ao CO_2 na contribuição para o aquecimento global ao longo do tempo. Essa métrica é útil para comparar as emissões de diferentes gases, considerando sua capacidade de retenção de calor e seu potencial de impacto climático em comparação com o dióxido de carbono, em uma base de produção de energia por área unitária, muitos anos após a emissão inicial (WRI BRASIL, 2024).

O Programa Brasileiro GHG Protocol, ao se alinhar com as decisões internacionais mencionadas anteriormente, também optou, para os inventários corporativos a partir de 2021 até uma nova deliberação da CMA, pelos valores relacionados ao Potencial de Aquecimento Global dos gases disponíveis no Quinto Relatório de Avaliação e que estão listados abaixo, na Tabela 2.

Tabela 2 – Tabela com os valores do GWP dos gases de efeito estufa, segundo o AR5 (IPCC)

GÁS	FAMÍLIA/ TIPO	GWP	REFERÊNCIA
Dióxido de carbono (CO ₂)	-	1	IPCC 2013
Metano (CH ₄)	-	28	
Óxido nitroso (N ₂ O) -	-	265	
265 HFC-23		12.400	
HFC-32	HFC	677	
HFC-41		116	
HFC-125		3.170	
HFC-134		1.120	
HFC-134 ^a		1.300	
HFC-143		328	
HFC-143 ^a		4.800	

Fonte: Adaptado de “Valores de referência para o potencial de aquecimento global (GWP) dos gases de efeito estufa – versão 2.0”.

Vale ressaltar que indústrias fazem uso extensivo tanto de fornos quanto de secadores. Contudo, não há nada que indique com precisão a relação entre fornos e secadores neste subsetor. Portanto, é importante ajustar os fatores de emissão do IPCC para abranger a variedade de equipamentos encontrados nos subsetores industriais (ROVERE, 2015). Conforme mostra a Tabela 3, fatores de emissão de gases equivalentes ao dióxido de carbono, fatores de emissão do IPCC (2021).

Tabela 3 - Fatores de Emissão de Gases não-CO₂ no Setor Industrial – consolidação

FORNOS INDUSTRIAIS (AQUECIMENTO DIRETO)	FATORES DE EMISSÃO (KG/TJ)				
Combustível	CO	CH4	NOX	N2O	NMVOC
Gás Natural (Úmido e Seco)	39,3	1	63	1	2,58
Gás Canalizado e Gás de Coqueria	29	1	74	0,1	23
Gás de Refinaria	39,3	1	63	0,1	2,58
GLP	66	1	513	0,1	2,3

Fonte: Adaptado de "Emissões de gases de efeito estufa por queima de combustíveis: abordagem Bottom-up".

4 CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O inventário de gases de efeito estufa da indústria de máquinas agrícolas, que produz colhedoras de cana-de-açúcar e pulverizadores, revela os impactos ambientais de cada etapa do processo, desde a fabricação até a distribuição. A análise detalha as fontes de emissões, identificando áreas-chave para a implementação de medidas de redução. A metodologia utilizada permite identificar oportunidades para diminuir os impactos ambientais, com estratégias voltadas à redução dos gases de efeito estufa.

4.1.1 Emissões dos Gases de Efeito Estufa proveniente ao Escopo 1 e 2 de 2021 ano base para redução

Dentro do contexto inicial, as emissões de gás carbônico (CO₂) registradas em 2021 atingiram um total de 5.465 tCO₂e, sendo esse considerado o ano base de estudo, utilizado para estabelecer a meta de redução de 50% e simular cenários de melhoria. Este número total engloba cinco principais fatores de emissão – quatro do Escopo 1 e um do Escopo 2 – conforme detalhamento a seguir.

A seguir, apresenta-se a distribuição mensal dos fatores de emissão em 2021, evidenciando uma relativa estabilidade no consumo industrial ao longo do ano:

Tabela 4 – Distribuição mensal do consumo dos fatores de emissão de GEE – Ano de aumento produtivo (2021)

Mês	GLP	HFC-134 A	RUBILENE	BIODISEL	ENERGIA	TOTAL (aprox.)
Jan	242.084	2.064	83.722	5.093	182.292	515.255
Fev	229.787	2.306	63.192	5.181	168.583	469.049
Mar	205.170	2.594	71.169	4.665	171.453	455.051
Abr	196.315	2.299	69.680	5.148	149.565	423.007
Mai	201.335	2.392	63.395	4.794	165.973	437.889
Jun	209.816	2.480	66.559	5.054	156.516	440.425
Jul	226.463	2.318	75.329	5.055	170.380	479.545
Ago	228.282	2.608	66.015	4.959	154.789	456.653
Set	191.924	2.604	64.696	4.520	171.895	435.639
Out	213.378	2.265	69.496	5.254	161.822	452.215
Nov	209.403	2.382	76.407	4.747	180.035	472.974
Dez	201.086	2.288	66.050	4.615	153.569	427.608
Total	2555.043	28.600	835.710	59.085	1986.872	5465.31

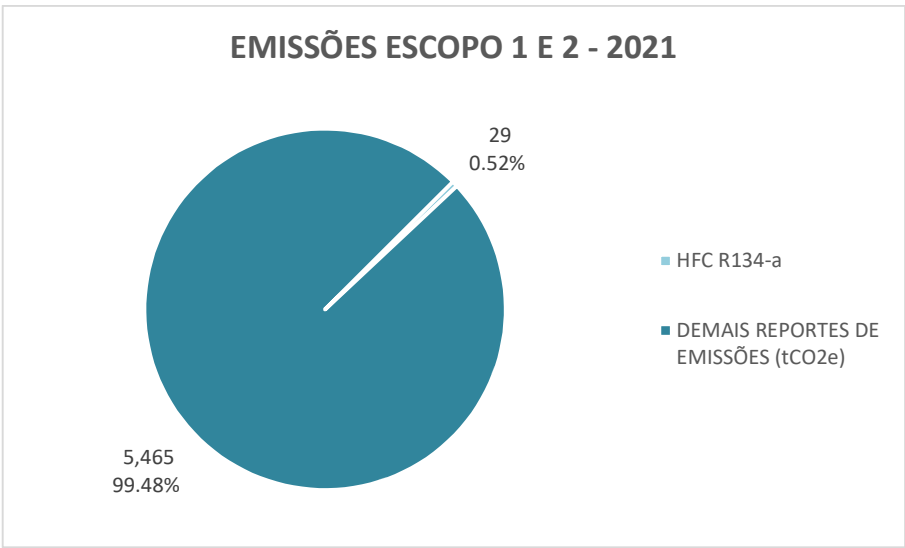
Fonte: Autor, 2025.

A análise da Tabela 4 revela uma demanda energética constante ao longo de 2021, sugerindo um ritmo de produção estável e sem grandes picos de sazonalidade. Essa estabilidade permite identificar com clareza os processos que mais contribuem para o perfil de emissões da planta.

O gás R134-a, utilizado para abastecer o ar-condicionado dentro da máquina nas cabines, tem uma emissão de 0,5% da quantidade total, de acordo com sua vazão a partir da colocação do gás dentro do reservatório, sendo calculado proporcional a sua emissão. Esse valor de 0,5% é um parâmetro estabelecido pelas normas corporativas.

Se o R134-a, for liberado na atmosfera, embora não danifique diretamente a camada de ozônio, terá um alto efeito de aquecimento global. Esta característica, combinada com uma menor eficiência, resulta num equivalente de CO₂ mais elevado. Portanto, mesmo que a camada de ozônio não seja afetada, a sua contribuição para o aquecimento global e para as emissões de gases com efeito de estufa é especial, exigindo atenção e medidas de mitigação para reduzir o seu impacto ambiental (ASSMANN, 2017). Portanto, a liberação deste gás exige cautela e medidas de mitigação adequadas, pois tem efeitos de longo prazo no equilíbrio do meio ambiente. Sua emissão em 2021 foi responsável por 0,52% do valor total de emissão, sendo o valor de 28,60 tCO₂e, mostrado na Figura 6.

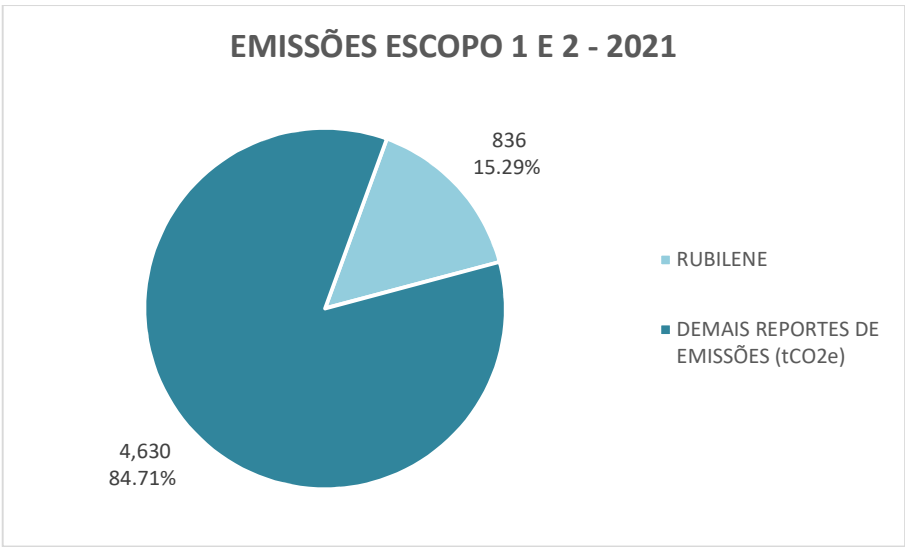
Figura 6 – Porcentagem de emissões de GEE, provenientes ao gás HFC R134-a ano de 2021.



Fonte: Autor, 2025.

O Rubilene, óleo mineral parafínico, indicado como fluido protetivo para motores inativos de combustão. Principalmente utilizado na indústria estudada, para o primeiro abastecimento das máquinas, para teste da mesma, sua emissão responsável por 15,29% das emissões totais de 2021, com 835,71 tCO₂e, de acordo com a Figura 7.

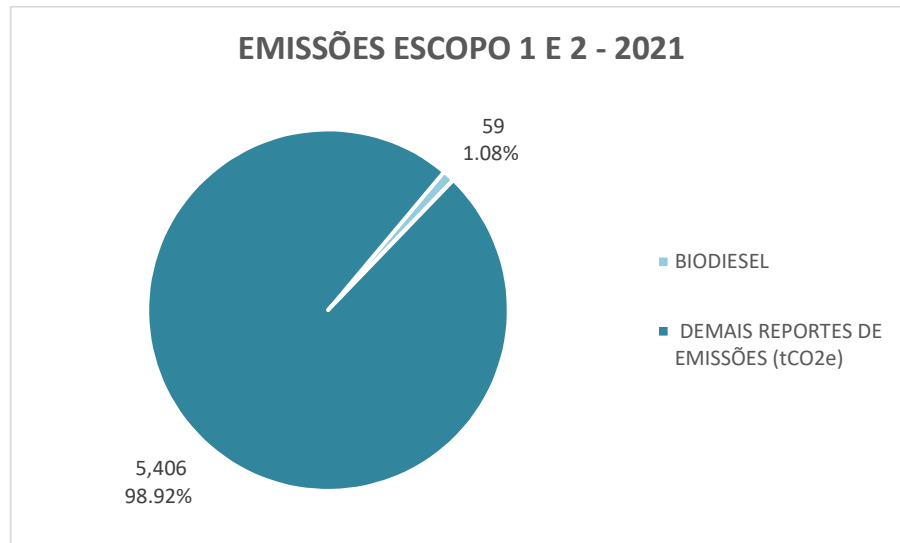
Figura 7 – Porcentagem de emissões de GEE, provenientes do Rubilene ano de 2021.



Fonte: Autor, 2025.

O Biodiesel responsável pelo abastecimento dos geradores e de alguns maquinários na indústria, por apresentar pouca demanda e poucos maquinários, sendo baixo seu consumo, com isso a emissão gerada pelo biodiesel é de 1,08% em relação às emissões totais de 2021 com 59,08 tCO₂e, conforme mostrado na Figura 8.

Figura 8 – Porcentagem de emissões de GEE, provenientes ao Biodiesel no ano de 2021.

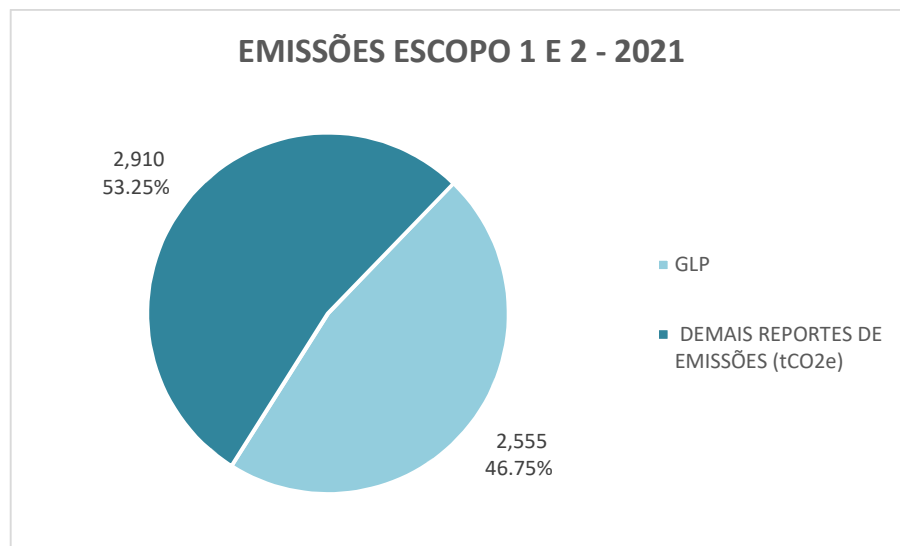


Fonte: Autor, 2025.

O grande emissor do escopo 1 é o gás GLP. Armazenado em local seguro, sua distribuição é realizada para três setores: o primeiro trata-se do processo de pintura; o segundo, do aquecimento de água pelo Boiler; e o terceiro, do processo de secagem. Para isso, o GLP é transladado por dutos que o encaminham direto para o setor de pintura, onde sua função é realizada nesses processos. O GLP também é utilizado na cozinha da empresa e no abastecimento de algumas empilhadeiras.

Devido às suas atividades, o GLP é a maior fonte emissora de GEE da indústria. Sua predominância está diretamente correlacionada às etapas de pintura e secagem (processos termicamente intensivos e essenciais na linha de produção), resultando em emissões totais de 2.555 tCO₂e em 2021, o equivalente a 46,75% do total emitido, de acordo com a Figura 9.

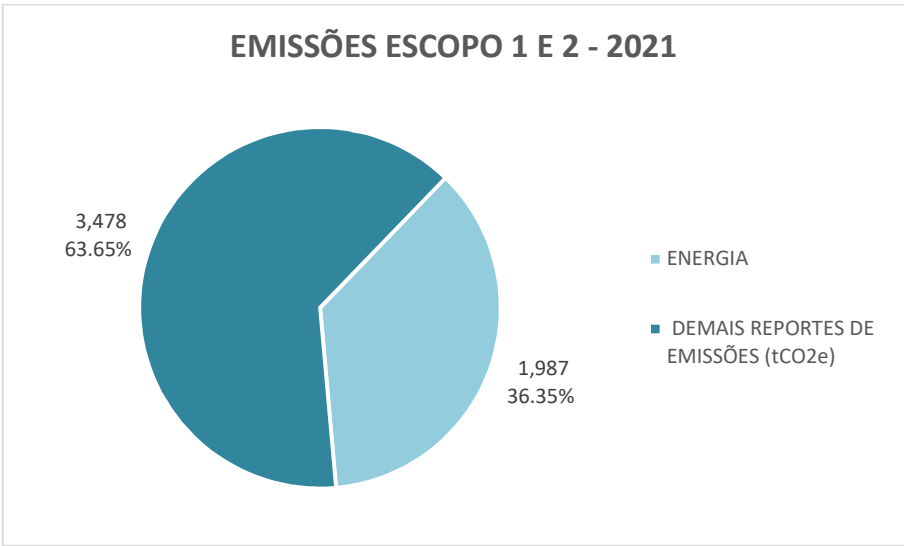
Figura 9 – Porcentagem de emissões de GEE, provenientes ao GLP no ano de 2021.



Fonte: Autor, 2025.

As emissões provenientes do consumo elétrico em 2021 totalizaram 1.986,87 tCO2e de GEE, o equivalente a 36,35% do total emitido. Como segunda fonte mais relevante, a energia elétrica reflete a demanda geral de maquinários, sistemas de montagem e iluminação da planta, firmando-se como um alvo estratégico para ações de mitigação, como mostra a Figura 10.

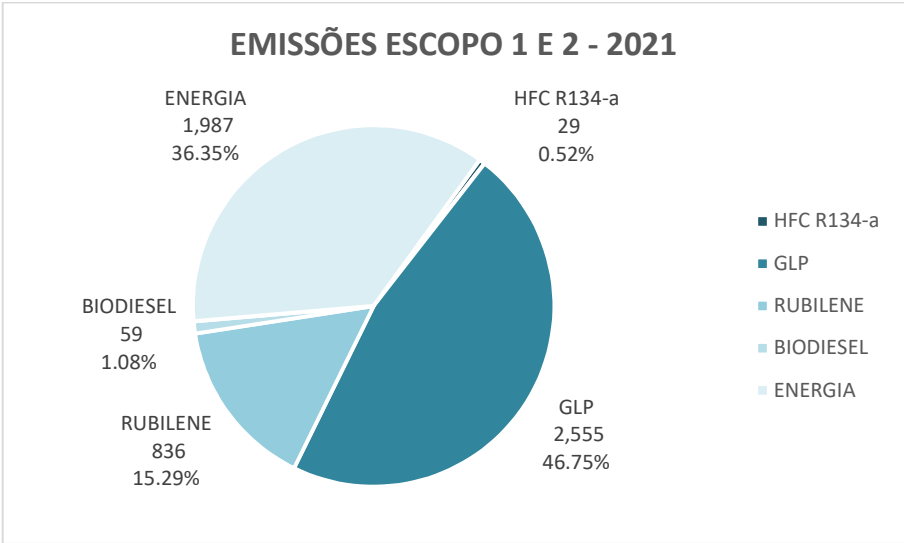
Figura 10 – Porcentagem de emissões de GEE, provenientes do consumo de Energia elétrica no ano de 2021.



Fonte: Autor, 2025.

Com a aplicação da metodologia PBGHG, é viável conduzir uma avaliação minuciosa da quantidade de gases emitidos, possibilitando uma compreensão precisa do principal gasto de poluentes na indústria, conforme ilustrado na Figura 11.

Figura 11 – Porcentagem de emissões de GEE – Escopo 1 e 2 de 2021.



Fonte: Autor, 2025.

Conforme a análise, percebe-se que a maior fonte de emissão é o GLP com 46,75% de emissão, em sequência a energia elétrica com 36,35%. Diante dessa constatação, a

indústria optou por adquirir energia elétrica proveniente de fontes renováveis, assim reduzindo suas emissões do escopo 2.

4.1.2 Emissões dos Gases de Efeito Estufa provenientes ao Escopo 1 e 2 de 2022.

No ano de 2022, foi registrado um aumento significativo na produção industrial. Essa expansão, visível nos dados mensais da Tabela 5, onde os consumos de GLP e Rubilene são consistentemente superiores aos de 2021, trouxe uma consequência direta: o aumento no escopo 1 das emissões de gases de efeito estufa, principalmente devido à elevação do consumo de combustíveis estacionários pela fábrica.

Apesar do aumento do consumo físico de energia elétrica para suportar a maior produção, as emissões associadas a ela apresentaram uma redução notável de 60,20% em comparação com 2021, totalizando 790 tCO₂e. Essa queda drástica não se deve a uma menor atividade, mas sim à decisão estratégica da empresa de adquirir energia de fontes renováveis, o que alterou significativamente o fator de emissão (tCO₂e/MWh) e praticamente zerou o impacto do Escopo 2.

Fica evidente que, embora a maior produção em 2022 tenha impulsionado as emissões diretas (Escopo 1), a medida de mitigação no Escopo 2 foi crucial. A troca da matriz energética evitou que o total de emissões aumentasse proporcionalmente à produção, resultando em uma redução consolidada de 19,70% em relação a 2021. Isso demonstra como ações focadas em fontes de energia limpa podem gerar resultados expressivos mesmo em cenários de crescimento industrial.

Tabela 5 – Distribuição mensal do consumo dos fatores de emissão de GEE – Ano de aumento produtivo (2022).

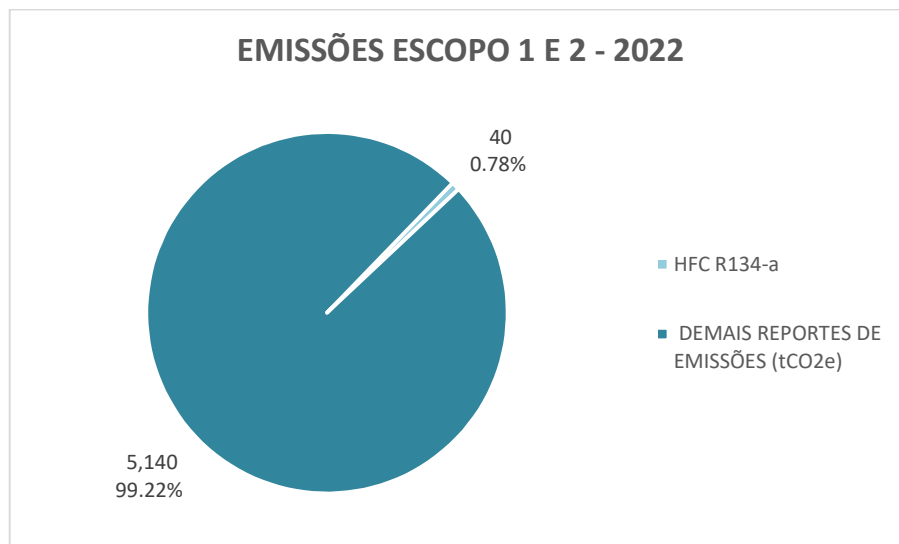
Mês	GLP	HFC-134 A	RUBILENE	BIODIESEL	ENERGIA	TOTAL (aprox.)
Jan	296.578	3.392	61.922	3.521	63.186	428.599
Fev	269.847	3.570	74.167	2.833	67.093	417.510
Mar	301.370	3.497	80.383	2.601	67.989	455.840
Abr	274.677	3.512	78.969	2.649	62.827	422.634
Mai	270.389	3.541	82.806	2.605	64.472	423.813
Jun	285.193	3.072	76.427	2.953	65.641	433.286
Jul	262.471	3.263	71.007	2.767	70.369	409.877
Ago	299.869	3.100	80.132	2.879	65.969	451.949
Set	258.717	3.602	80.863	3.108	71.926	418.216
Out	310.315	3.441	77.796	2.730	63.871	458.153
Nov	298.175	3.245	81.019	2.823	65.453	450.715
Dez	265.739	3.065	76.759	3.021	61.297	409.881
Total	3393.340	40.300	922.250	34.490	790.093	5180.473

Fonte: Autor, 2025.

Levando em consideração o escopo 2, temos que o total de emissões do escopo 1 e 2 é de 5.180 tCO₂e, apesar do valor total ser abaixo em comparação ao ano de 2021, mostro a seguir o aumento da maioria dos fatores de emissão do escopo, conforme mostrado abaixo:

Para o gás HFC, R134-a o valor de emissão de 40,30 tCO₂e, indicando um aumento de emissão de 40,91% de GEE, a mais em 2022 em comparação ao ano de 2021 do R134-a. Ainda podemos visualizar pela Figura 12, que em comparação aos demais fatores de emissão de GEE, referente a emissão total de 2022, chega a 0,78% de emissão.

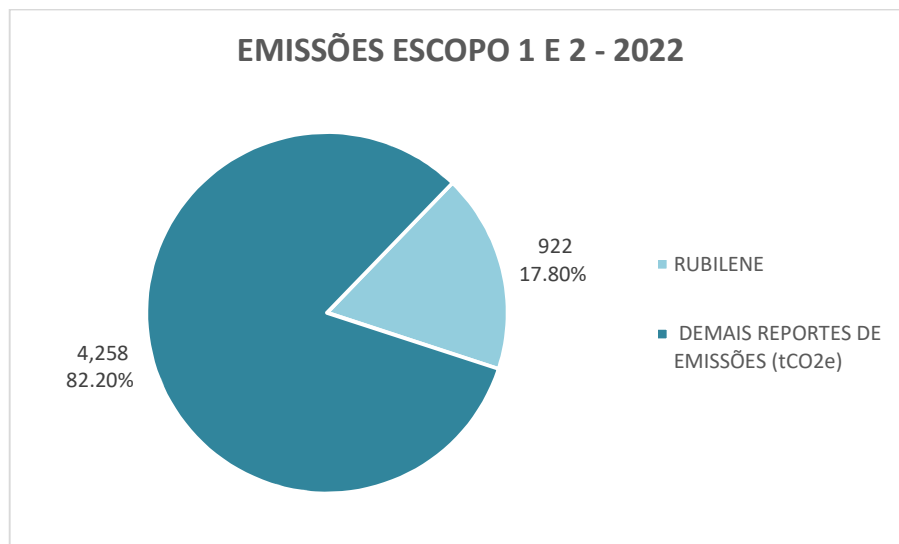
Figura 12 – Porcentagem de emissões de GEE, provenientes ao gás HFC R134-a ano de 2022.



Fonte: Autor, 2025.

O Rubilene apresenta um aumento de emissão devido ao seu consumo, em relação ao ano de 2021, com uma percentagem de 10,30%, valor de emissão de 922 tCO₂e. Em relação a sua proporção com os demais fatores de emissão, pode-se observar que sua percentagem de emissão é de 17,80%, conforme mostrado na Figura 13.

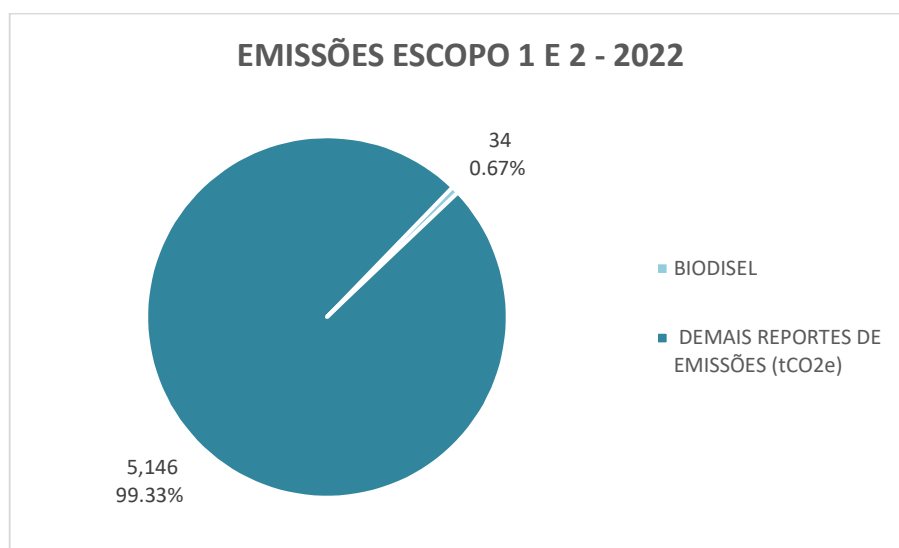
Figura 13 – Porcentagem de emissões de GEE, provenientes ao Rubilene ano de 2022.



Fonte: Autor, 2025.

Já o Biodiesel a emissão de 2022 em comparação com a emissão de 2021 houve uma redução de 41,62%, sendo sua emissão de 34,49 tCO2e. Esse valor em comparação com demais fatores de emissão de GEE de 2022, chega a 0,67% do valor total emitido em 2022, não chegando a 1% da porcentagem total de emissão, conforme mostrado na Figura 14.

Figura 14 – Porcentagem de emissões de GEE, provenientes ao Biodiesel no ano de 2022.

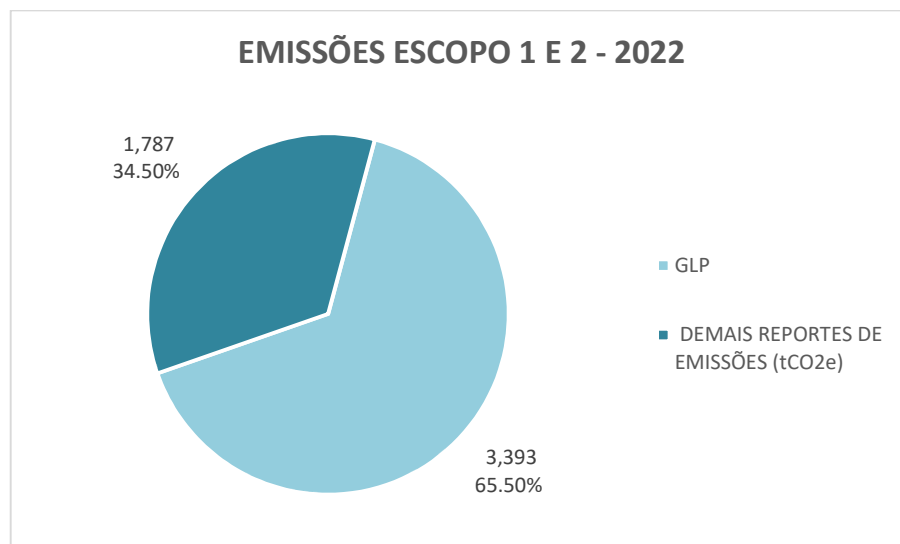


Fonte: Autor, 2025.

O GLP ainda sendo o maior emissor de GEE da indústria. Com a análise tem-se, em comparação com 2021, houve um aumento de 32,81% no ano de 2022, sendo sua emissão de 3.393,34 tCO2e. Com isso, considera um aumento em sua porcentagem, em relação à

porcentagem total dos demais fatores reportados no ano de 2022, chegando a 65,68% das emissões de GEE, conforme mostrado na Figura 15.

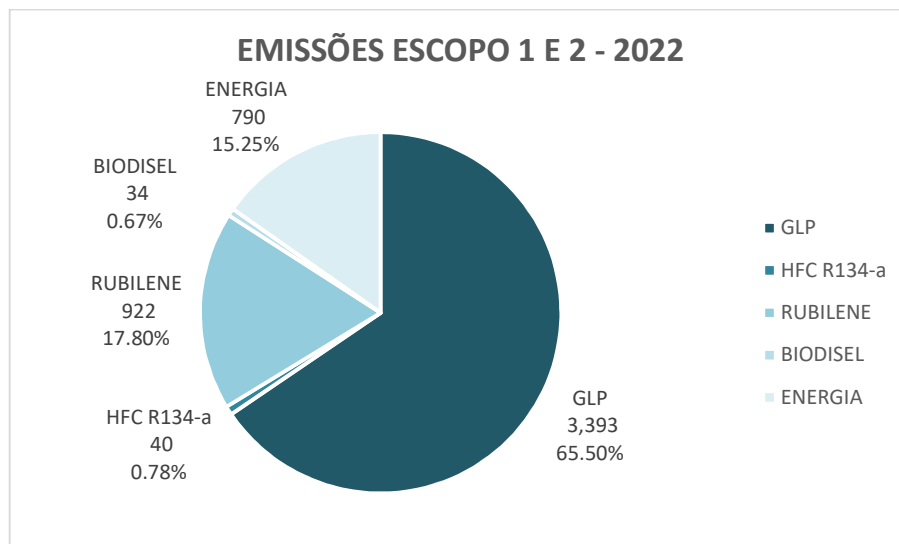
Figura 15 – Porcentagem de emissões de GEE, provenientes ao GLP no ano de 2022.



Fonte: Autor, 2025.

Apesar do aumento de consumo na energia elétrica, em 2022 o fator (tCO₂e/MWh), deixa o resultado de emissão tCO₂e, abaixo a emissão total em comparação a emissão de 2021, com redução 60,20%, sendo o valor de 790 tCO₂e. Tendo sua porcentagem de emissão de 15,25%, em relação aos demais fatores de emissões do ano de 2022. Conforme mostra a Figura 16.

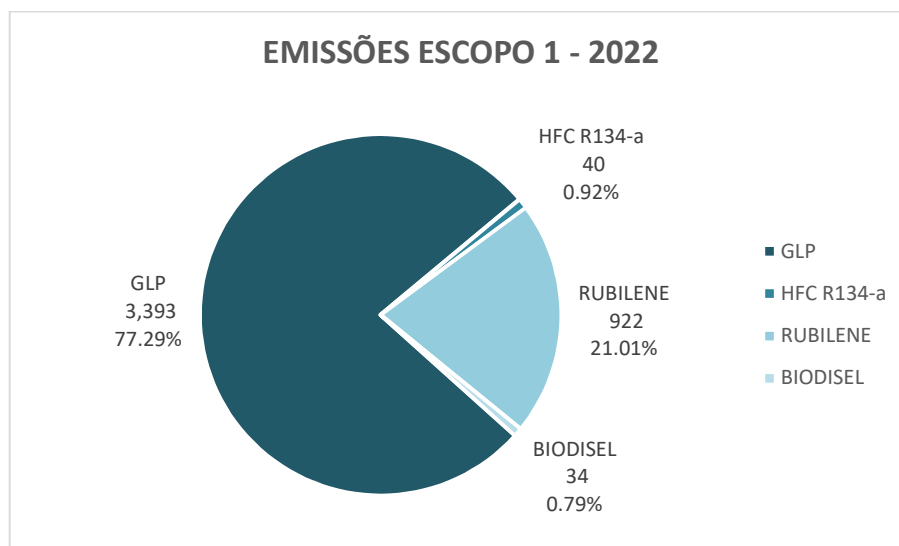
Figura 16 – Porcentagem de emissões de GEE – Escopo 1 e 2 de 2022.



Fonte: Autor, 2025.

Levando em consideração a implementação da compra de energia sustentável as emissões do escopo 2 foram zeradas, deixando uma proporção de porcentagem de relevância de emissão da seguinte forma, mostrada na Figura 17. Com um total de emissão de 4.390 tCO2e.

Figura 17 – Porcentagem de emissões de GEE – Escopo 1 de 2022.



Fonte: Autor, 2025.

Embora tenha tido, um aumento de consumo dos demais fatores, devido a produção em 2022, nota-se uma redução de 19,70% em comparação com o ano de 2021, devido essa medida de mitigação no escopo 2.

4.1.3 Emissões dos Gases de Efeito Estufa provenientes ao Escopo 1 e 2 de 2023.

Em 2023, observamos um cenário caracterizado por uma queda na produção industrial em comparação com anos anteriores, o que refletiu diretamente na diminuição do consumo dos insumos emissores de gases de efeito estufa (GEE). A análise mensal das emissões referentes aos escopos 1 e 2 revela a variação no consumo dos principais insumos ao longo do ano, totalizando 3.875 tCO₂e de emissões. A seguir, detalha-se o comportamento das emissões mês a mês:

Tabela 6 – Distribuição mensal do consumo dos fatores de emissão de GEE – Ano de aumento produtivo 2023.

Mês	GLP	HFC-134 A	RUBILENE	BIODISEL	ENERGIA	TOTAL (aprox.)
Jan	193.842	2.305	65.263	4.126	67.025	332.561
Fev	178.907	2.557	58.547	3.803	65.205	309.019
Mar	210.390	2.390	63.838	4.064	67.005	347.687
Abr	189.331	2.274	58.036	3.690	67.788	321.119
Mai	184.312	2.573	58.736	4.044	64.285	313.950
Jun	194.896	2.428	65.156	4.206	59.384	326.070
Jul	210.390	2.145	65.987	3.580	63.813	345.915
Ago	200.008	2.367	56.178	3.726	66.327	328.606
Set	194.069	2.350	58.723	3.832	63.007	321.981
Out	179.731	2.459	58.993	3.946	62.259	307.388
Nov	178.815	2.163	60.646	4.159	63.872	309.655
Dez	180.479	2.589	57.887	3.874	66.443	311.272
Total	2295.170	28.600	727.990	47.050	776.413	3875.223

Fonte: Autor, 2025.

- Janeiro: O consumo de GLP foi de 193.842 kg, com emissão proporcionalmente elevada de Rubilene (65.263 kg) e Energia (67.025 kWh), o que indica maior atividade industrial no início do ano. O HFC-134a ficou em 2.305 kg e o Biodiesel em 4.126 L.
- Fevereiro: Houve uma leve queda geral no consumo de insumos, com destaque para o GLP (178.907 kg) e Rubilene (58.547 kg). O consumo de energia também caiu para 65.205 kWh, sugerindo redução nas operações fabris.
- Março: Este mês representou um pico produtivo, evidenciado pelo maior consumo de GLP do ano (210.390 kg), diretamente associado à intensificação dos processos de pintura e secagem, e também de Rubilene (63.838 kg), utilizado nos testes das máquinas finalizadas.

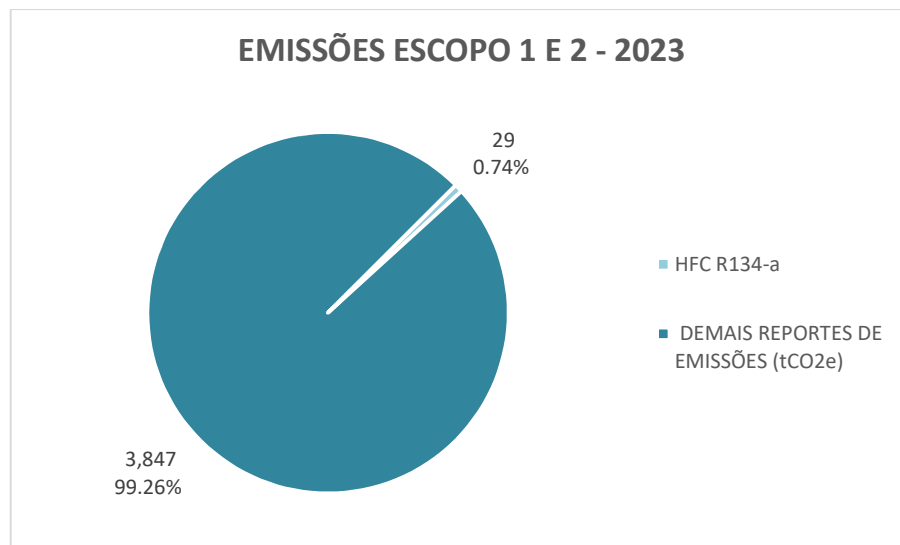
- Abril: O consumo se estabilizou com leves quedas em quase todos os fatores, com GLP em 189.331 kg e Rubilene em 58.036 kg. A energia elétrica teve leve aumento (67.788 kWh), mantendo a emissão sob controle.
- Maio: O GLP ficou em 184.312 kg e Rubilene em 58.736 kg, com biodiesel apresentando o menor consumo do primeiro semestre (4.044 L), mantendo as emissões dentro da média do ano.
- Junho: Registrou-se uma elevação no consumo de GLP (194.896 kg), refletindo a continuidade da produção. Em paralelo, a emissão associada à energia elétrica (Escopo 2) manteve-se baixa devido ao uso de fontes renováveis, reforçando o sucesso da estratégia de descarbonização do consumo elétrico.
- Julho: O maior consumo de Rubilene do ano foi registrado neste mês (65.987 kg), com GLP em 210.390 kg, indicando nova alta nas operações. No entanto, o uso de energia elétrica foi o segundo menor do ano (63.813 kWh), o que pode estar relacionado à eficiência energética.
- Agosto: O GLP seguiu alto (200.008 kg), com Rubilene e Biodiesel mantendo níveis similares aos meses anteriores. A energia elétrica teve um leve aumento (67.010 kWh).
- Setembro: Registrou-se o menor consumo de GLP (194.069 kg) do segundo semestre, com Rubilene em 58.723 kg. As emissões seguiram estáveis devido à continuidade do uso moderado de energia elétrica (63.832 kWh).
- Outubro: GLP caiu novamente para 179.731 kg, e Rubilene para 58.993 kg. A energia elétrica foi a mais baixa do segundo semestre (62.259 kWh), refletindo em menor emissão neste mês.
- Novembro: O consumo geral se manteve próximo à média anual, com destaque para Rubilene (60.645 kg) e GLP (178.815 kg). A energia manteve estabilidade com 63.872 kWh.
- Dezembro: O mês final apresentou consumo médio de GLP (180.479 kg) e Rubilene (57.887 kg), com energia elétrica em 66.443 kWh. Apesar da leve elevação, manteve-se uma tendência de controle das emissões.

Essa mudança na dinâmica produtiva teve como consequência direta uma redução nas emissões geradas pela indústria. Essa queda na produção em 2023 em comparação com o ano anterior evidencia uma alteração na atividade industrial que teve um impacto direto nas emissões de gases de efeito estufa. Ao reduzir o consumo dos fatores de emissão, a indústria demonstra também uma redução em sua emissão, para comparação foi levado em consideração o ano de 2021.

Assim que no ano de 2023 obtemos um total de emissões do escopo 1 e 2, de 3.875 tCO₂e, portanto a análise de redução dos fatores de emissão do escopo 1 e 2, é em comparação ao ano de 2021.

O gás HFC R134-a, compreendeu a mesma proporção de emissão comparado ao ano de 2021, na Figura 18 pode-se observar que sua porcentagem em relação aos demais fatores de emissão de 2023 é de 0,74% com o valor de emissão de 28,60 tCO₂e.

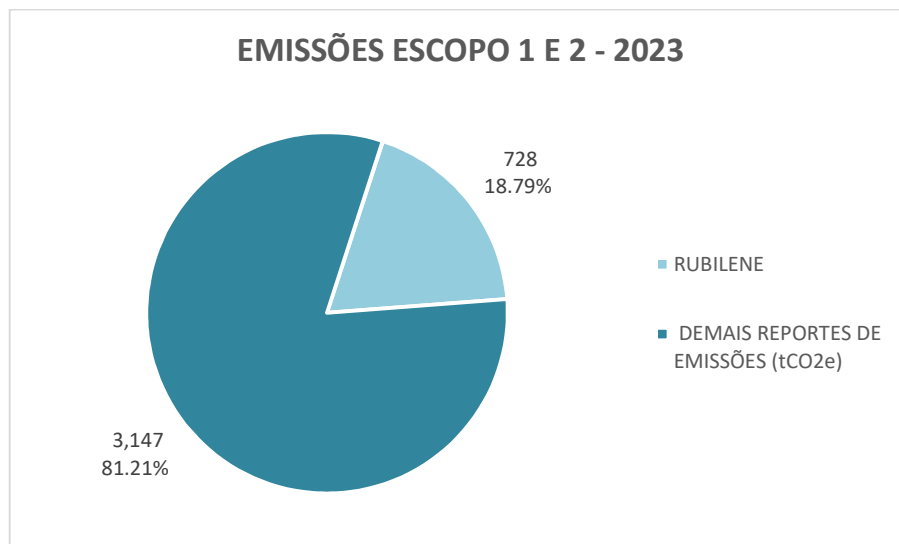
Figura 18 – Porcentagem de emissões de GEE, provenientes ao gás HFC R134-a ano de 2023.



Fonte: Autor, 2025.

Em seguida, o Rubilene constatou uma redução de 12,89% em relação ao ano de 2021, seu valor de emissão foi de 728 tCO₂e em 2023. Sua porcentagem de emissão no ano de 2023 em comparação com os demais fatores de emissão GEE é de 18,79%, conforme mostrado na Figura 19.

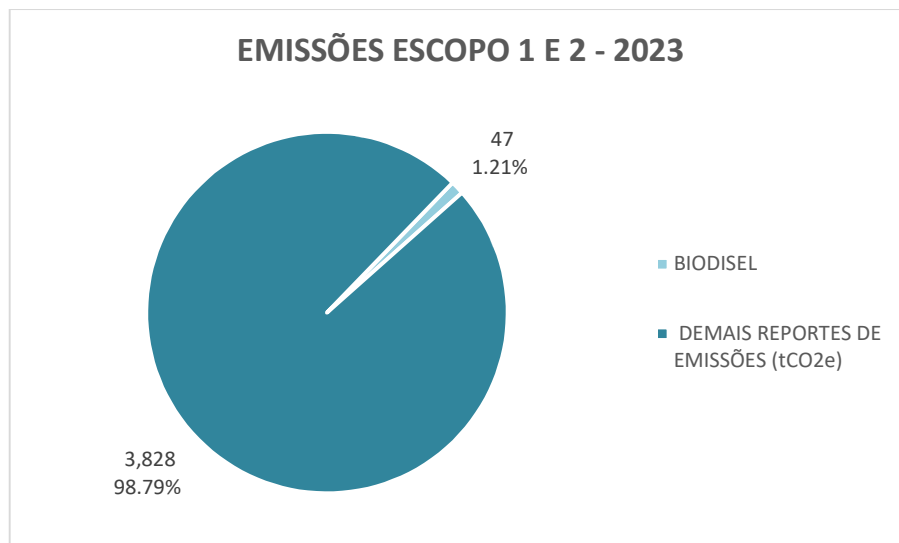
Figura 19 – Porcentagem de emissões de GEE, provenientes do ano de 2023.



Fonte: Autor, 2025.

O Biodiesel apresentou o valor de emissão de GEE de 47 tCO2e em 2023. Esse valor indica uma redução de 20,36% em comparação ao ano de 2021. Sua porcentagem no ano de 2023 em relação aos demais fatores de emissão deste ano foi de 1,21%, conforme apresentado na Figura 20.

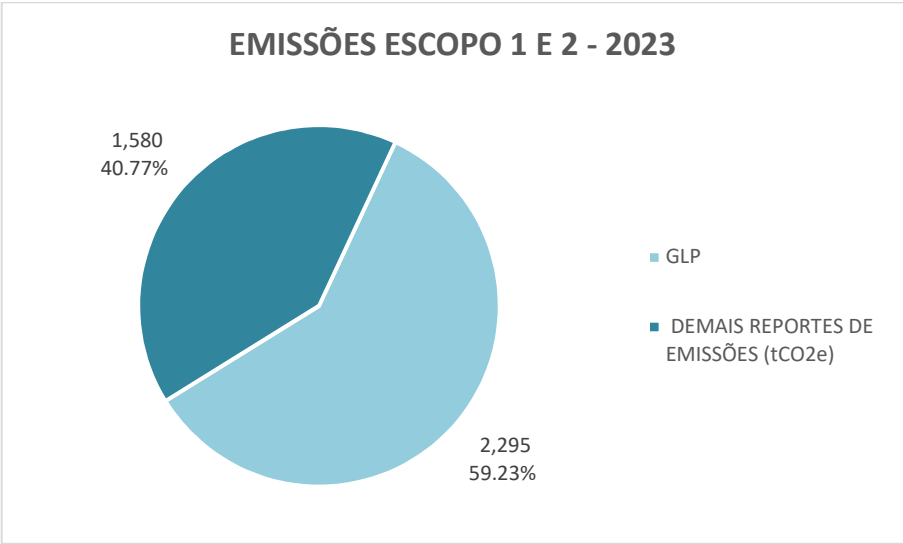
Figura 20 – Porcentagem de emissões de GEE, provenientes ao Biodiesel no ano de 2023.



Fonte: Autor, 2025.

Analisando o GLP em 2023 sua emissão foi de 2.295 tCO2e, apresentando uma porcentagem de 59,23% do total de emissão no ano de 2023, conforme mostrado na Figura 21. Em comparação com a emissão de GLP no ano de 2021, mostra uma redução de 10,17%.

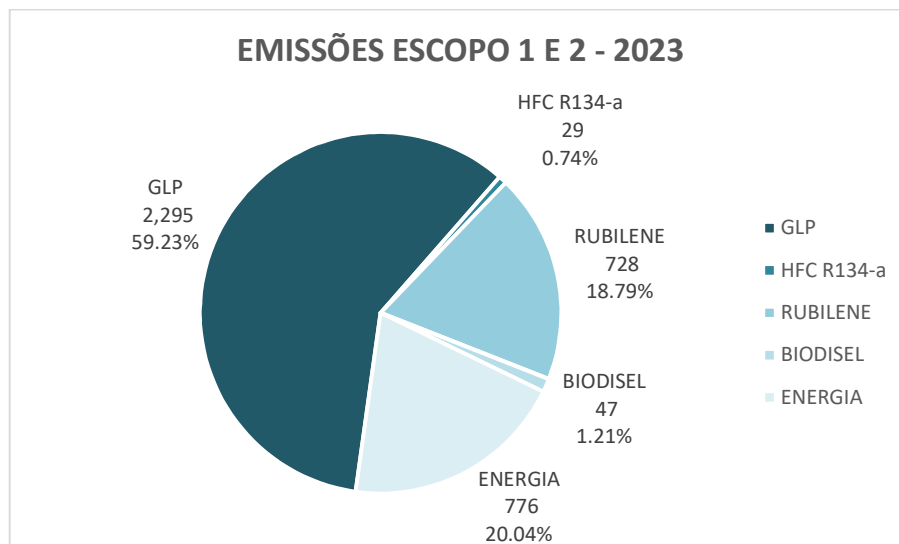
Figura 21 – Porcentagem de emissões de GEE, provenientes ao GLP no ano de 2023.



Fonte: Autor, 2025.

A energia elétrica mostra uma redução no consumo, logo sua emissão de GEE é de 776 tCO2e, outro motivo dessa proporção seria o fator (tCO2e/MWh), que em comparativo ao ano de 2021 suas variáveis favorecem o resultado, trazendo uma porcentagem de redução de 60,92%. Para a comparação com os demais fatores de emissão no ano de 2023, escopo 1 e 2, sua porcentagem é de 20,04%. Conforme mostra a Figura 22.

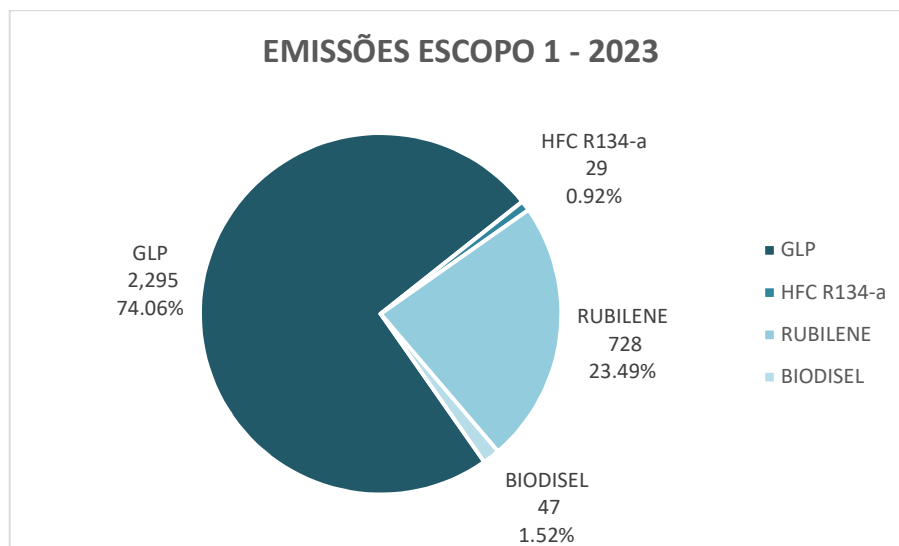
Figura 22 – Porcentagem de emissões de GEE – Escopo 1 e 2 de 2023.



Fonte: Autor, 2025.

Devido a implementação do consumo de energia sustentável conforme mostrado, essa redução no ano de 2023 dos demais fatores pelo consumo, teve uma diminuição de emissão de 43,33% de emissões em comparação ao ano de 2021. Logo a emissão total em 2023, caiu para 3.099 tCO₂e, mudando sua proporção de distribuição de porcentagem de relevância para as seguintes medidas, mostrada na Figura 23.

Figura 23 – Porcentagem de emissões de GEE – Escopo 1 de 2023.

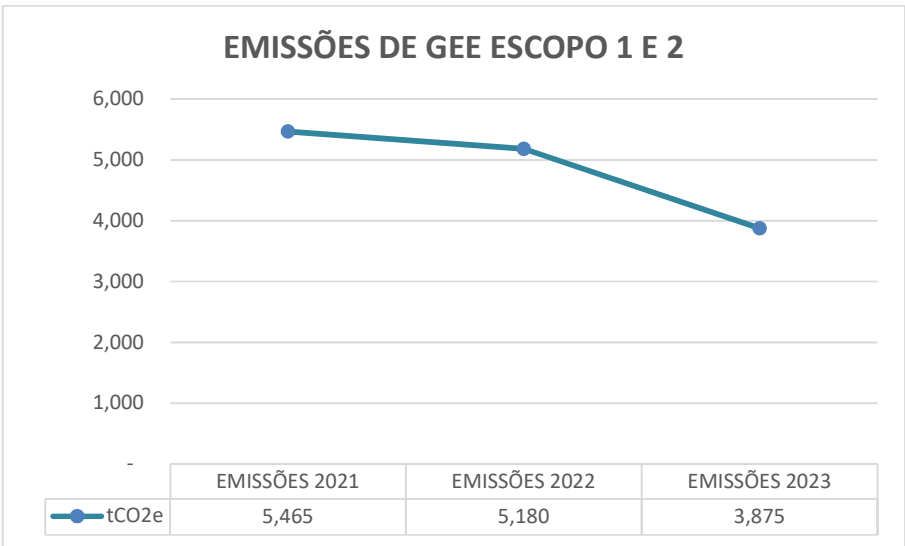


Fonte: Autor, 2025.

4.1.4 Emissões dos Gases de Efeito Estufa provenientes ao Escopo 1 e 2 de 2021 a 2023.

Para fins cronológicos, obtemos o seguinte gráfico da Figura 24, que mostra a relação dos anos de 2021, 2022 e 2023, de acordo com a análise apresentada anteriormente com base nas emissões de gases de efeito estufa proveniente ao escopo 1 e 2 da indústria.

Figura 24 – Gráfico cronológico de emissões GEE de 2021,2022 e 2023.



Fonte: Autor, 2025.

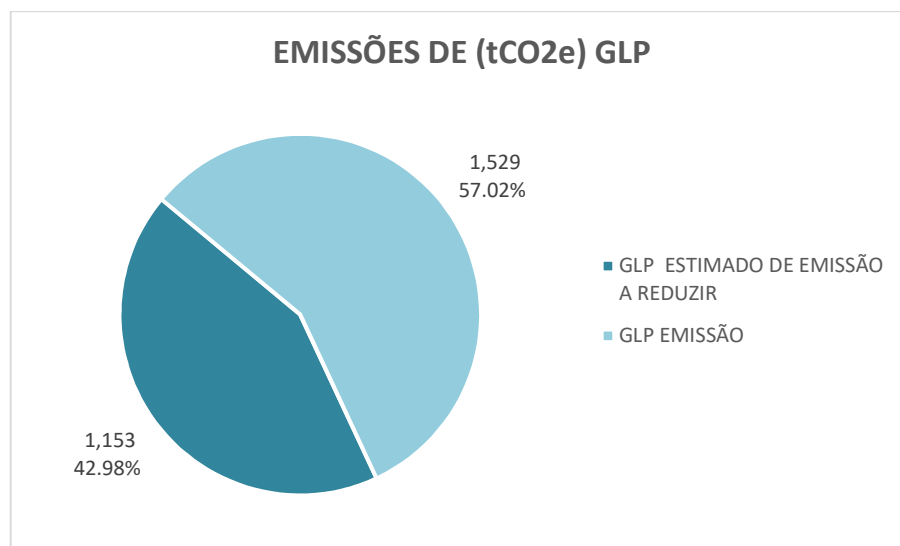
4.1.5 Possível cenário de melhoria

A importância da análise, com os dados obtidos, proporciona a visualização do real agravante das emissões de GEE da indústria, com isso podemos propor uma medida de melhoria, vimos que o principal fator de emissão é o GLP, fonte de combustão para atividade desenvolvida no escopo 1.

Esse cenário de melhoria mostra a utilização da combustão de energia da Biomassa, consiste em um aquecedor automático de queima de Biomassa sem fumaça é detentora de uma tecnologia exclusiva de queima limpa a própria fumaça é incinerada na fornalha ao invés de sair pela chaminé que se encaixa dentro do processo de produção, substituindo o GLP em uma porcentagem considerável em sua utilização. Foi calculado levando em consideração o consumo de GLP no ano de 2021 com a emissão total de 2.555.04 tCO2e, temos uma redução

de emissão de 43% anual do total de GLP consumido, com essa substituição. Com isso haveria uma redução de emissão de GEE, no valor de 1.152,85 tCO₂e, conforme mostra a Figura 25.

Figura 25 - Redução de emissão GEE, provenientes ao GLP



Fonte: Autor, 2025.

A redução estimada em relação aos demais fatores de emissão, com a implementação do uso da combustão da energia Biomassa seria no total de 51,18% e com a redução já implementada da energia sustentável no escopo 2. Isso traz um resultado satisfatório levando em consideração a meta da indústria de 50%.

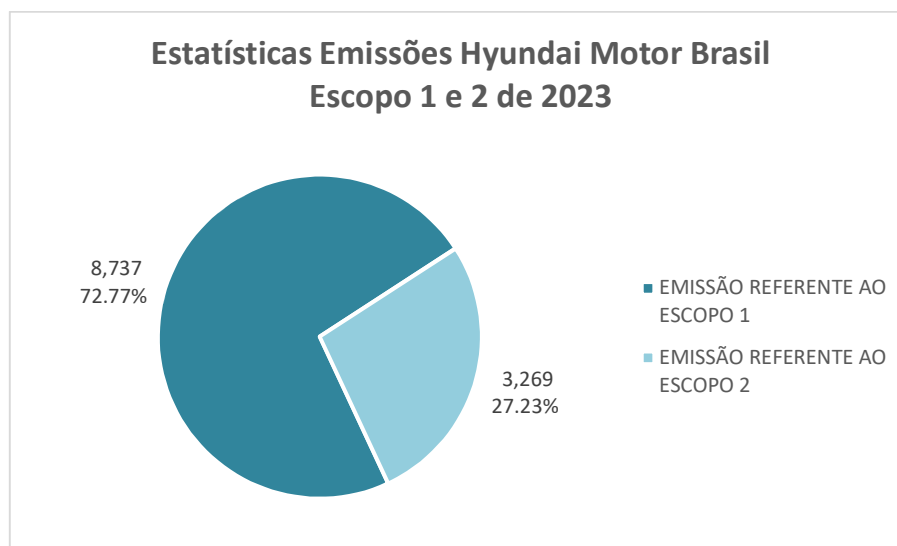
Adicionalmente, para aprofundar a descarbonização, a indústria pode futuramente avaliar outras rotas tecnológicas. Estudos de viabilidade para a eletrificação da frota de empilhadeiras, que atualmente consomem GLP, e a implementação de sistemas de aquecimento solar para pré-aquecimento da água do Boiler poderiam complementar a estratégia, reduzindo ainda mais a dependência de combustíveis fósseis no Escopo 1.

4.1.6 Inventário em indústria automobilística comparativo

Para iniciar a comparação das emissões de gases de efeito estufa (GEE) entre as duas indústrias automotivas é importante observar como cada uma gerencia suas emissões diretas e indiretas (Escopos 1 e 2). Ambas as empresas, embora atuem no mesmo setor, apresentam diferentes estratégias e resultados de emissões, refletindo as variações em seus

processos produtivos e no uso de recursos energéticos. Essa abordagem inicial de comparação revela as semelhanças no compromisso de ambas em reduzir o impacto ambiental e as particularidades nas táticas de cada uma para alcançar suas metas de descarbonização. A seguir o gráfico das emissões de GEE da Hyundai Motor Brasil para 2023, mostrando as emissões nos Escopos 1, 2 em toneladas de CO₂ equivalente, na figura 26.

Figura 26 - Estatísticas Emissões Hyundai Motor Brasil Escopo 1 e 2 de 2023



Fonte: Adaptado, FGV (2024).

A importância de ambas as indústrias automotivas reportarem suas emissões de GEE reside em seu papel não apenas no cumprimento de regulamentações ambientais, mas também no fortalecimento de práticas sustentáveis que geram valor para a sociedade e para o mercado. Ao reportar seus inventários, essas empresas demonstram transparência e compromisso com a sustentabilidade, permitindo que suas ações sejam monitoradas e ajustadas conforme necessário para reduzir o impacto climático. Esse processo cria uma base de dados consistente, essencial para identificar oportunidades de melhoria, como o aumento do uso de energias renováveis ou a implementação de tecnologias mais eficientes. A comparação dos inventários das duas indústrias destaca a relevância de cada uma em contribuir para uma economia de baixo carbono, permitindo que, através do inventário, façam um diagnóstico claro de suas emissões e avancem em práticas alinhadas com o Acordo de Paris e outras metas globais. Além disso, essa prática cria um impacto positivo na cadeia produtiva, pois outras empresas são incentivadas a adotar inventários e a trabalhar para minimizar suas emissões. Assim, o inventário de GEE torna-se uma ferramenta essencial para a transição sustentável da indústria automotiva e de outros setores.

Assim quando analisamos um inventário de GEE, identificamos cada particularidade da problemática dos fatores de emissões podendo traçar cenários estratégicos, para mitigar entendendo a real situação que a indústria enfrenta.

5 CAPÍTULO 5

5.1 CONCLUSÕES

Este estudo cumpriu seus objetivos de avaliar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) em uma indústria de máquinas agrícolas em Catalão-GO, aplicando o protocolo GHG para criar um inventário preciso e propor melhorias para a redução das emissões. A análise dos resultados revelou que o gás liquefeito de petróleo (GLP) é a maior fonte de emissão, representando 47% das emissões totais, seguido pelo consumo de energia elétrica, que responde por 36%. Outras fontes, como o gás R134-a e o Rubilene, também foram identificadas, embora com contribuições menores no total das emissões.

Com base nesses dados, o estudo propôs um cenário de melhoria que inclui a substituição parcial do GLP por biomassa, uma fonte de energia mais sustentável e com menor impacto ambiental. As projeções indicam que essa substituição pode reduzir as emissões de GLP em até 43%, o que equivale a uma diminuição significativa de aproximadamente 1.153 toneladas de CO₂ equivalente. Além disso, recomenda-se a manutenção e expansão do uso de fontes de energia renovável e a implementação de práticas mais eficientes de consumo energético na indústria, com potencial de ampliar a sustentabilidade dos processos.

A implementação do inventário de emissões e do cenário de melhoria é essencial para o alinhamento da empresa com os compromissos ambientais globais, como o Acordo de Paris, e para a sua adaptação a possíveis regulamentações ambientais futuras. Este inventário proporciona uma visão abrangente e quantificável das emissões industriais, auxiliando na criação de um planejamento estratégico que vise à redução de impactos ambientais e ao uso mais eficiente dos recursos energéticos. Além disso, ao adotar essas práticas de mitigação, a indústria reforça seu compromisso com a sustentabilidade, fortalecendo sua posição no mercado e sua competitividade em um contexto onde os consumidores e parceiros comerciais cada vez mais valorizam empresas responsáveis ambientalmente.

6 REFERÊNCIAS

AIUTO, K., HUCKINS, S. & MOMBLANCO, H.. **Entenda o que é GHG Protocol, seus três escopos e como evoluíram os inventários corporativos**. WRI - *World Resources Institute*, Brasil, 2024. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/entenda-ghg-protocol-tres-escopos-inventarios-corporativos>. Acesso em: 11 fev. 2024.

ALMEIDA, I. M. S. de, *et al.* **Resíduos Sólidos**, 2021.

ALMEIDA, Y. K. R. de. **Crédito de carbono no Brasil: análise dos impactos econômicos e estratégias regulatórias para o fortalecimento do mercado**. 2023.

ALVES, A. de O. & AZEVEDO, T. C.. **Governança ambiental e desafios socioambientais contemporâneos: uma análise da evolução da gestão pública**. RDE-Revista de Desenvolvimento Econômico, v. 1, n. 1, 2024.

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.

ASSIS, T. R. dos R. de, & OLIVEIRA, M. C. de. **Educação ambiental: Contributo Para o Desenvolvimento Sustentável**. *Minerva Magazine of Science*, 2024.

BARBIERI, J. C.. **Gestão ambiental empresarial**. Saraiva Educação SA, 2017.

BARBOSA, E. M.. **Análise da governança ambiental, social e corporativa (ESG) e sua relação com o marketing ambiental**. 2023.

BARON, R. W. *et al.* **Capitalismo sustentável e o Ranking Global 100: uma análise da evolução do setor privado com a agenda climática global**. 2024.

BASTOS, F.. **O que é NDC e como essas metas são definidas para a COP27?** Exame, 2023. Disponível em: <https://exame.com/esg/o-que-sao-as-ndcs-e-como-elas-sao-definidas-para-a-cop27/>. Acesso em: 13 dez. 2023.

BERNARDO, A. *et al.* **Oportunidades e desafios do uso de biomassa compactada para fins energéticos.** In: BIOMASSA: RECURSOS, APLICAÇÕES E TECNOLOGIAS EM PESQUISAS. Editora Científica Digital, 2022. p. 97-114.

BRANCO-TEIXEIRA, M.. **Manual de Inovação e Sustentabilidade: Manual de Inovação e Sustentabilidade-Os desafios e as soluções na reabilitação urbana 4.0.** Vida Economica Editorial, 2023.

BRASIL. **Fator médio – Inventários corporativos.** Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento, Brasília, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao>. Acesso em: 20 jan. 2025.

BRASIL. **Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – Sumário Executivo.** Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016. 45 p.: il. ISBN: 978-85-88063-18-1.

BURSZTYN, M. A.. **Fundamentos de política e gestão ambiental: caminhos para a sustentabilidade.** Editora Garamond, 2018.

CALDEIRA, R. da S. *et al.* **Proposta de plano de mitigação das emissões de gases de efeito estufa na indústria gráfica.** 2020.

CARDOSO, C., SILVA, M. S. da, & GUERRA, A. J. T.. **Geografia e os riscos socioambientais.** Editora Bertrand Brasil, 2020.

CARLINI, R. C.. **ESG: A Tríade Estratégica do Modelo de Negócio Rumo à Sustentabilidade e Longevidade Empresarial.** Editora Dialética, 2024.

CARVALHO, E. B. de, *et al.* **O Projeto de Lei n. 412/2022 e o mercado brasileiro de redução de emissões: oportunidades e desafios para o setor corporativo.** 2023.

CHAVES, C. R.. **Análise de desempenho do processo de combustão em fornos petroquímicos voltada para a melhoria da eficiência energética.** 2012.

CNI - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Baixo Carbono e Recursos Naturais.** Confederação Nacional Da Indústria, 2023. Disponível em: <https://www.mapadaindustria.cni.com.br/baixo-carbono-e-recursos-naturais>. Acesso em: 25 nov. 2024.

CNI - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Mudança do clima e indústria brasileira: iniciativas e recomendações estratégicas para implementação e financiamento da NDC do Brasil.** Confederação Nacional Da Indústria, Brasília, 2018. 112 p. ISBN 978-85-7957-162-6.

COLLADO, P. H.. **Análise dos efeitos poluentes dos gases metano e dióxido de carbono advindos da agricultura no Brasil e principais países emissores.** 2023.

CORREIA, R. J. de S.. **Potencial de sequestro de carbono da Força Aérea.** 2022.

COSME, E. G. da S.. **Fashion upcycling: desafios e oportunidades para a sustentabilidade na indústria da moda sob a perspectiva do direito brasileiro.** Trabalho de Conclusão de Curso, 2023. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

COSTA, L. I. da. **Alterações climáticas e Defesa Nacional.** E-Briefing Papers, 2022.

CRUZ, U. de B., *et al.* **Inventário de emissão de gases de efeito estufa estratégias de mitigação em instituições de ensino superior: o caso da Universidade Federal de Sergipe.** 2020.

DALE, C.. **Enciclopédia de Anatomia do Corpo Sutil: Um guia definitivo, detalhado e ilustrado sobre a bioenergia humana.** Editora Cultrix, 2021.

EC & CEU - *EUROPEAN COUNCIL & COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION*.. **Acordo de Paris sobre alterações climáticas**. CONSELHO EUROPEU E CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA, 2024. Disponível em: <https://www.consilium.europa.eu/pt/policies/climate-change/paris-agreement/>. Acesso em: 05 fev. 2024.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Mudanças climáticas e Transição energética**. Empresa De Pesquisa Energética, Brasil, 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/clima-e-energia#TOPO>. Acesso em: 13 dez. 2023.

DINATO, R. M.. **Sistematização dos métodos de contabilização de emissões de gases de efeito estufa sob a ótica do ciclo de vida**. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 2022.

DONAIRE, D. **Gestão ambiental na empresa**. São Paulo: Atlas, 2.ed. 1999. Disponível em: <https://www.estantevirtual.com.br/livros/denis-donaire/gestao-ambiental-naempresa/1691131264>. Acesso em: 31 de outubro de 2023.

FANDÉ, M. B.. **Risco e adaptação costeira às alterações climáticas - Estudos de caso na Guiné-Bissau**. 2022.

FERREIRA, J. da C.. **A importância da propriedade intelectual nas práticas empresariais para um futuro sustentável**. Revista Contemporânea, v. 3, n. 11, p. 22929-22952, 2023.

FREITAS, C. M. de. **Um equilíbrio delicado: crise ambiental e a saúde no planeta**. Editora Garamond, 2018.

FGVces – FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS, CENTRO DE ESTUDOS EM SUSTENTABILIDADE. **Valores de referência para o potencial de aquecimento global (GWP) dos gases de efeito estufa**. Escola de Administração de Empresas de São Paulo (FGV EAESP), 2022. Disponível em: <https://repositorio.fgv.br/server/api/core/bitstreams/fd7bc5b9-a1b6-45f9-91b1-35624c63dd16/content>. Acesso em: 25 abr. 2024.

FGVces – FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS, CENTRO DE ESTUDOS EM SUSTENTABILIDADE. **Programa Brasileiro GHG Protocol**. Escola de Administração de

Empresas de São Paulo (FGV EAESP), 2024. Disponível em: <https://eaesp.fgv.br/centros/centro-estudos-sustentabilidade/projetos/programa-brasileiro-ghg-protocol>. Acesso em: 25 abr. 2024.

FGVces – FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS, CENTRO DE ESTUDOS EM SUSTENTABILIDADE. **Política de qualificação de inventários no Programa Brasileiro GHG Protocol**. Escola de Administração de Empresas de São Paulo (FGV EAESP), 2022. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10438/32863>. Acesso em: 25 abr. 2024.

FRAGALLE, C. V. P.. **Seleção de parceria e processo de governança da colaboração na inovação aberta sustentável: um estudo em projetos de P&D em parceria com o mercado para a descarbonização da agropecuária**. 2024.

FIRJAN - FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Cartilha Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa**. SENAI, Departamento Regional do Estado do Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://www.firjan.com.br/publicacoes/manuais-e-cartilhas/cartilha-inventario-de-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa.htm>. Acesso em: 10 de outubro de 2023.

GARCIA, D. P.. **Caracterização química, física e térmica de pellets de madeira produzidos no Brasil**. 2010.

GIL, L. A.. **Análise da conjuntura de incorporadoras e construtoras frente ao movimento *Environmental, Social and Governance–ESG* no Brasil**. 2021.

GOMES, A. I. M.. **Indústria Aeronáutica mais ecológica**. Tese de Doutorado, 2024.

GOMES, D. A. de N.. **Quantificação e análise das emissões de gases de efeito estufa na indústria siderúrgica**. 2022.

GOMES, H. C.. **Da pegada à neutralidade: o papel do esg na transição para emissões zero de carbono no mundo e no brasil**. Editora Manual, 2024.

Governo de STP. **Plano de Acção Tecnológico para a Transferência das Tecnologias de Adaptação às Mudanças Climáticas no sector de Zonas Costeiras**. República Democrática de São Tomé e Príncipe, 2021.

GROSSMAN, D.. **GEO-5 para o Setor de Negócios: Impactos de um Meio Ambiente em Mudança sobre o Setor corporativo**. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - PNUMA, 2013.

GUTERRES, J. C.. **O panorama da política de ciência, tecnologia e inovação (cti) de timor--leste: revelando desafios e resoluções**. Ciências e Tecnologia, 15, 2023.

HASANBEIGI, A.. **An International Benchmarking of Energy and CO2 Intensities**. Um *Benchmarking* Internacional de Intensidades de Energia e CO2. Inteligência Global em Eficiência. *Global Efficiency Intelligence, Steel Climate Impact*, 2022.

HATTORI, T., NAM, H., & CHAPMAN, A.. **Multilateral energy technology cooperation: Improving collaboration effectiveness through evidence from International Energy Agency Technology Collaboration Programmes**. Cooperação multilateral em tecnologia energética: melhorando a eficácia da colaboração por meio de evidências dos Programas de Colaboração Tecnológica da Agência Internacional de Energia. *Energy Strategy Reviews*, v. 43, p. 100920, 2022.

INSTITUTO ETHOS. **Guia metodológico para inventário de emissões de Gases do Efeito Estufa na Engenharia e Construção**. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfefndmkaj/https://www.ethos.org.br/wp-content/uploads/2019/03/guia_metodologico.indd_.pdf. Acesso em: 25 abr. 2024

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Organization**. 2019.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2021-the physical science basis**. Mudanças climáticas, 2021 - a base da ciência física. Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, 2021.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14064-1:2018 - Gases de efeito estufa - Parte 1: Especificação com orientação no nível da organização para quantificação e relato de emissões e remoções de gases de efeito estufa**.

Organização Internacional de Normalização, 2021. Recuperado de: <https://www.iso.org/standard/72192.html>.

KLAUS, V.. **Planeta Azul em Algemas Verdes - O que está correndo perigo: o clima ou a liberdade?** DVS Editora, 2013.

KRONENBERGER, D.. **Desenvolvimento local sustentável: uma abordagem prática.** Editora Senac São Paulo, 2019.

LOOSE, E. B.. **Jornalismo e mudanças climáticas desde o Sul: Os vínculos do jornalismo não hegemônico com a colonialidade.** 2021.

LUCON, O.. **Mudanças Climáticas: Roteiro de Estudos.** 2022.

MARCOVITCH, J.. **Estratégias Empresariais e a Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE).** FEA/USP, São Paulo, 2014. Disponível em: <http://www.usp.br/mudarfuturo/cms>. Acesso em: 20 jan. 2025.

MARIANO, J. B.. **Impactos ambientais do refino de petróleo.** Rio de Janeiro, 2001.

MARQUES, Luiz. **O decênio decisivo: propostas para uma política de sobrevivência.** Editora Elefante, 2023.

MARTINS, F. R., & PEREIRA, E. B.. **Energia solar: estimativa e previsão de potencial solar.** Editora Appris, 2020.

MARUJO, E., GONÇALVES, N., & DIAS, R.. **Alterações Climáticas: Riscos e Desafios Macro-orçamentais.** 2022.

MASSON-DELMOTTE, V. *et al.*. **Mudança do clima 2021 - A base científica: sumário para formuladores de políticas.** 2021.

MATOS, A. T. de. **Poluição ambiental: impactos no meio físico.** Editora UFV, 2020.

MENEZES, P. H. M. A.. **O pagamento por serviços ambientais como instrumento para atingir as metas de redução de Gases de Efeito Estufa (GEE) pelo Brasil.** 2022.

MILHORANCE, C., SABOURIN, E., & MENDES, P.. **Adaptação às mudanças climáticas no Semiárido brasileiro: desafios de coordenação e implementação de políticas públicas.** A ação pública de adaptação da agricultura à mudança climática no Nordeste semiárido brasileiro, n. 1, p. 81-98, 2021.

MCTI - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. **Emissões de gases de efeito estufa por queima de combustíveis: abordagem Bottom-up.** Ministério da ciência, tecnologia e inovação, 2015. Disponível em: https://repositorio.mctic.gov.br/bitstream/mctic/5291/1/2015_setor_energia_emissoes_gases_efeito_estufa_queima_combustiveis_abordagem_bottom-up_anexo_metodologico%20.pdf. Acesso em: 25 abr. 2024

MOIA, R. P.. **Normalização da qualidade e gestão integrada.** Editora Senac São Paulo, 2023.

NAIS, L. R. A.. **Quais os desafios e oportunidades para as grandes empresas da indústria química que atuam no Brasil a partir da regulação do mercado de emissões de gases de efeito estufa.** Tese de Doutorado, 2023.

NASA - *National Aeronautics and Space Administration*. **Climate Change.** Mudanças Climáticas, Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (EUA), 2022. Disponível em <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/?intent=111>. Acesso em: 20 jan. 2025.

NASA - *National Aeronautics and Space Administration*. **NASA Analysis Confirms 2023 as Warmest Year on Record.** Análise da NASA confirma 2023 como o ano mais quente já registrado, Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (EUA), 2023. Disponível em https://www.nasa.gov/news-release/nasa-analysis-confirms-2023-as-warmest-year-on-record/?utm_source=TWITTER&utm_medium=NASAClimate&utm_campaign=NASASocial&linkId=262645329. Acesso em: 20 jan. 2025.

NEIVA, H. S.. **Mercado Voluntário de Carbono no Brasil.** Tese de Doutorado, PUC-Rio, 2023.

NETO, J. O. do N.. **Políticas Públicas de Fomento à Segurança no Âmbito da Transição**. Segurança e Transição Energética: Tomo III, 2024.

NETO, M. P. M. *et al.*. **Relatório Anual do Programa Brasileiro GHG Protocol: resultados do ciclo 2022**. Escola de Administração de Empresas de São Paulo (FGV EAESP), 2022.

NETO, M. P. M. *et al.*. **Relatório Anual do Programa Brasileiro GHG Protocol: Resultados do ciclo 2023**. Escola de Administração de Empresas de São Paulo (FGV EAESP), 2023. Disponível em: <https://eaesp.fgv.br/producao-intelectual/relatorio-anual-programa-brasileiro-ghg-protocol-resultados-ciclo-2023>. Acesso em: 25 abr. 2024.

NEVES, C. G., DOPICO, Y. B. C.. **Análise de metodologias de produção de inventários de gases de efeito estufa de cidades**. 2013.

NOGUEIRA, F. R. *et al.*. **2.2 CENÁRIOS DE RISCO NO BRASIL**, 2021.

NOGUEIRA, L. A. H. *et al.*. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

OLIVEIRA, R. B. de, *et al.* **Análise de Consumo de Energia Elétrica de Equipamentos em Oficina de Pintura Automotiva**. Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, v. 9, n. 1, p. 69-78, 2024.

OTONI, L. P.. **A descarbonização ea importância do gás natural como fonte de energia no processo de transição energética**. 2023.

PÁEZ, C. R. L.. ***Diseño e implementación de sistemas centralizados de gas licuado de petróleo (GLP) en edificaciones de uso residencial, comercial o industrial***. Projeto e implementação de sistemas centralizados de gás liquefeito de petróleo (GLP) em edifícios residenciais, comerciais ou industriais. Trabalho de Conclusão de Curso, QUITO/EPN/2012.

PAULA, N. M. de. **Emissões de gases de efeito estufa e seu impacto no mercado de trabalho brasileiro: uma análise de insumo-produto**. 2023.

PEDRETI, P. dos S. *et al.*. **Contexto e análise dos impactos econômicos e ambientais da indústria automobilística no Brasil**. 2024.

PRIMAVESI, O., ARZABE, C., & PEDREIRA, M. dos S.. **Mudanças climáticas: visão tropical integrada das causas, dos impactos e de possíveis soluções para ambientes rurais ou urbanos**. 2007.

PROGRAMA BRASILEIRO *GHG PROTOCOL*. **Guia para a elaboração de inventários corporativos de emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE)**. São Paulo, 2021.

RAULINO, P. S.. **Emissões de Gases de Efeito Estufa e o Setor Elétrico Brasileiro – O Caso CPFL Energia**. Programa de Pós-Graduação em Administração da FEA/USP, 2018.

REHBEIN, K. D. da S. *et al.*. **Sustentabilidade à mesa: impactos ambientais do consumo da carne**. 2023.

RIBEIRO, M. de S.. **Contabilidade ambiental**. Saraiva Educação SA, 2017.

RODRIGUES, A. S. *et al.*. **O mercado brasileiro de redução de emissões: a elegibilidade do excedente de reserva legal como atividade geradora de créditos de carbono**. 2023.

ROVERE, E. L. L. *et al.*. **Emissões de gases de efeito estufa por queima de combustíveis: abordagem *Bottom-up***. 2015.

SANTORO, F. *et al.*. **Cultura Oceânica para todos: kit pedagógico**. UNESCO Publishing, 2020.

SANTOS, F. M. dos, FÁVARO, C. L. J., & FILHO, J. B. da R.. **Sobre a morte e o comer: as implicações das tradições alimentares sobre as mudanças climáticas**. Simplíssimo, 2022.

SANTOS, J. O.. **Inventário das emissões de gases de efeito estufa (GEE) na Embasa: oportunidades para o aprimoramento da gestão das emissões**. 2016.

SANTOS, L. P. dos. **A Importância da Agricultura Familiar para a Sustentabilidade e Segurança Alimentar: Desafios e Perspectivas.** MULTI DISCIPLINAR, p. 76, 2024.

SANTOS, W. F. R. *et al.*. **Conceitos e teorias sobre o mercado de carbono: uma revisão de literatura.** Caderno Pedagógico, v. 21, n. 7, p. e5515-e5515, 2024.

SCHVAMBACH, A.. **Efeito da implantação do plano de mobilidade urbana do município de Brusque/SC na emissão de gases de efeito estufa.** 2023. Tese de Doutorado.

SEPULVIDA, L. M.. **Implementação e as dificuldades de iniciativas de sustentabilidade e ESG em empresas da indústria química para alcançar as metas das ODS da ONU.** 2023.

SILVA, A. da C. *et al.*. **Sustentabilidade por meio da indústria 4.0 e produção mais limpa: Múltiplos casos na indústria automotiva.** 2021.

SILVA, A. P. L. A. da. **Mudanças climáticas na atualidade.** 2023.

SILVA, J. de A. da.. **Inventário de gases de efeito estufa conforme o programa brasileiro GHG Protocol e ISO 14064: 2007. Estudo de caso: secagem de argilominerais.** 2023.

SILVA, L. T. P. da.. **Aplicação de ferramentas para avaliar o impacto ambiental do retrofitting em máquinas industriais-caso de estudo.** 2023. Tese de Doutorado.

SINDIGAS. **GLP EM MOVIMENTO: Panorama do setor de GLP em movimento.** SINDIGAS, 59ª ed. 2024. Disponível em: <https://www.sindigas.org.br/?p=39415>. Acesso em: 16 abr. 2024.

SOUZA, S. L. V. B.. **Os créditos de carbono no âmbito do Protocolo de Quioto.** Editora Appris, 2020.

Topema Innovations. **Aquecedor automático a Pellets.** Topema Innovations, 2024. Disponível em: <https://www.topema.com/produto/aquecedor-automatico-a-pellets/>. Acesso em: 20 de outubro de 2024.

UNFCCC - *UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE*. **Acordo de Paris - Situação da Ratificação**. Convenção-quadro das nações unidas sobre mudança do clima, 2021. Recuperado de: <https://unfccc.int/process/the-paris-agreement/status-of-ratification>. Acesso em: 20 jan. 2025.

WRI Brasil – *WORLD RESOURCES INSTITUTE*. **GHG Protocol: O padrão global para que empresas e organizações mensurem e gerenciem emissões de gases de efeito estufa**. Instituto de Recursos Mundiais - WRI Brasil, 2024. Disponível em: https://www.wribrasil.org.br/projetos/ghg-protocol?gad_source=1&gclid=EAlaIQobChMI6vCf7KvbhQMVHWJIAB3RVALUEAAYASAAEgIHYPD_BwE&utm_medium=cpc&utm_source=google&utm_campaign=Clima&utm_content=GHG_Protocol&utm_term=ghg%20protocol. Acesso em: 25 abr. 2024.

WRI Brasil – *WORLD RESOURCES INSTITUTE*. **Metodologia do GHG Protocol da agricultura**. Instituto de Recursos Mundiais - WRI Brasil, 2024. Disponível em: <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2022-12/Metodologia.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2024.

WRI Brasil – *WORLD RESOURCES INSTITUTE*. **GHG Protocol - Padrão Corporativo de Contabilidade e Relatórios**. Instituto de Recursos Mundiais, 2021. Recuperado de: <https://ghgprotocol.org/corporate-standard>.

YIN, R. K.. **Estudo de Caso: Planejamento e métodos**. Bookman editora, 2015.

ZAMBRANO, J. A. G.. ***Collision of Environmental Expectations when Assessing the Supply Versus the Consumption of Electrical Energy***. Colisão de Expectativas Ambientais na Avaliação da Oferta Versus Consumo de Energia Elétrica. *Evolutionary studies in imaginative culture*, p. 332-345, 2024.

ZANUZZO, J. T.. **Sustentabilidade de forma prática para a engenharia química: metodologias para a gestão de carbono em atividades produtivas e econômicas**. 2023.

ANEXOS

ANEXO A – Fatores de emissão médio e anuais entre 2021 e 2023.

Fator Médio Mensal (tCO2/MWh)													Fator Médio Anual (tCO2/MWh)
2021	MÊS												ANO - 2021
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	0.1264
	0.1164	0.0820	0.0673	0.0764	0.0883	0.1491	0.1634	0.1743	0.1699	0.1786	0.1484	0.1029	

Fator Médio Mensal (tCO2/MWh)													Fator Médio Anual (tCO2/MWh)
2022	MÊS												ANO - 2022
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	0.0426
	0.0732	0.0503	0.0406	0.0216	0.0280	0.0441	0.0419	0.0457	0.0491	0.0471	0.0402	0.0294	

Fator Médio Mensal (tCO2/MWh)													Fator Médio Anual (tCO2/MWh)
2023	MÊS												ANO - 2023
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	0.0385
	0.0292	0.0238	0.0296	0.0340	0.0295	0.0528	0.0495	0.0419	0.0343	0.0387	0.0529	0.0459	

Fonte: Brasil (2024).