



**UFCAT**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CATALÃO (UFCAT)**

**FACULDADE DE ENGENHARIA (FENG)**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (PPGEP)**

**JERLIAN SOARES ARAÚJO**

**BALANÇO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM ÁREA  
DE PRODUÇÃO DE CAFÉ EM AMBIENTE TROPICAL**

**Catalão (GO)**

**2024**



## 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: **JERLIAN SOARES ARAÚJO**

Nome completo do(a) orientador(a): **ANTONIO NILSON ZAMUNER FILHO**

3. Título do trabalho

Título: **BALANÇO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM ÁREA DE PRODUÇÃO DE CAFÉ EM AMBIENTE TROPICAL**

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

Concorda com a liberação total do documento: [ X ] SIM [ ] NÃO<sup>1</sup>

[<sup>1</sup>] 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 02/09/2024, às 08:59, 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 **Jerlián Soares Araújo**, **Usuário Externo**, em 02/09/2024, às 11:54, 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?](https://sei.ufcat.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0)

[acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufcat.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0107180** e o código CRC **EF8DABCE**.

**JERLIAN SOARES ARAÚJO**

**BALANÇO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM ÁREA DE  
PRODUÇÃO DE CAFÉ EM AMBIENTE TROPICAL**

**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 **MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**. Área de Concentração: Engenharia de Operações e Processos Industriais. Linha de Pesquisa: Engenharia de Operações e Processos Industriais.

**Orientador:** Professor Dr. Antonio Nilson Zamunér Filho

**Catalão (GO)  
2024**





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

## ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº 38 da sessão de Defesa de Dissertação de **JERLIAN SOARES ARAUJO**, que confere o título de Mestre em Engenharia de Produção, na área de concentração em Engenharia de Operações e Processos Industriais.

Aos dezesseis dias do mês de agosto de dois mil e vinte e quatro a partir das 14 horas, na Sala virtual do Google Meet, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada “**BALANÇO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM ÁREA DE PRODUÇÃO DE CAFÉ EM AMBIENTE TROPICAL**”. 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 CARLOS ANTONIO RIBEIRO DUARTE (PPGEP/UFCAT)**, membro titular interno; e do **Professor Doutor RENAN CALDAS UMBURANAS (PPGFITOTECNIA/ESALQ/USP)**, membro titular externo. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido o candidato **aprovado** 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, aos dezesseis dias do mês de agosto de dois mil e vinte e quatro.

### TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA: **BALANÇO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM ÁREA DE PRODUÇÃO DE CAFÉ EM AMBIENTE TROPICAL**



Documento assinado eletronicamente por **ANTONIO NILSON ZAMUNER FILHO, Professor(a) do Magistério Superior**, em 16/08/2024, às 15:49, 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 **CARLOS ANTONIO RIBEIRO DUARTE, Professor(a) do Magistério Superior**, em 16/08/2024, às 15:50, 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 **Renan Caldas Umburanas, Usuário Externo**, em 26/08/2024, às 09:27, 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](https://sei.ufcat.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0099218** e o código CRC **F3776FC6**.

*Ao meus pais,  
pelo incentivo e apoio.*

## AGRADECIMENTOS

Sou grato a todos que contribuíram para a conclusão desta dissertação. O apoio incondicional, incentivo e orientação dessas pessoas tornaram esta jornada possível.

Ao meu orientador, Professor Antonio Nilson Zamunér Filho, expresso minha sincera gratidão por sua orientação inestimável, expertise, paciência e dedicação ao meu crescimento acadêmico. Seu papel foi fundamental na moldagem da qualidade e direção desta pesquisa.

Também desejo estender minha sincera apreciação aos membros do corpo docente do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Catalão. Sua competência acadêmica, retornos esclarecedores e disposição em compartilhar conhecimentos enriqueceram significativamente o conteúdo e o escopo desta dissertação. Todas as críticas construtivas e sugestões valiosas contribuíram para aprimorar este trabalho.

Aos meus colegas pesquisadores, quero expressar minha gratidão pela assistência e cooperação que recebi por meio de discussões intelectuais, trocas de ideias e apoio inestimável. Suas contribuições aprimoraram minha pesquisa e aprofundaram minha compreensão sobre o assunto.

Agradeço de coração aos meus pais pelo amor incondicional, encorajamento e motivação constantes. Mesmo que, no meio dessa jornada, meu pai tenha partido, sua força e inspiração continuam a ser minha fonte de determinação ao longo desta jornada acadêmica.

Por fim, expresso minha gratidão a todos os participantes que generosamente dedicaram seu tempo e forneceram informações para esta pesquisa. Sua disposição foi fundamental, e suas contribuições desempenharam um papel essencial na moldagem das descobertas e conclusões deste trabalho.

Agradeço a todos pelas indispensáveis contribuições.

*“Nunca disse que seria fácil.  
Só disse que valeria a pena.”*

*Mae West*

ARAUJO, J. S. **Balço De Gases de Efeito Estufa Em Área de Produo de Caf em Ambiente Tropical**. 108p. Dissertao de Mestrado, Universidade Federal de Catalo, Catalo, GO. 2024.

## RESUMO

O Brasil é o maior produtor e exportador de café no mundo, mas enfrenta desafios crescentes devido as mudanças climáticas, o que impacta a produo nacional, a qualidade do produto, a sustentabilidade e a viabilidade econmica da atividade. Dessa forma, torna-se imperativo compreender em profundidade os impactos das mudanças climáticas no sistema produtivo cafeeiro e buscar solues inovadoras para mitigá-los. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo realizar balanço de gases de efeito estufa para a cultura do café, analisando o histórico do setor, o sistema produtivo do café, as tendências climáticas da região produtora e explorando estratégias de mitigação de GEE. Foram coletados os dados das principais fontes de emissão e remoo em uma unidade produtiva na cidade de Monte Carmelo - MG e os dados foram calculados pelo *GHG Protocol* Agrícola. Como resultado, a aplicao de calcário (67%), seguindo do consumo de diesel (22%), finalizando com as menores fontes de emissão, consumo de energia elétrica (7%) e uso de adubos nitrogenados (4%). Sobre a remoo, conclui-se que com a biomassa da planta, estoca  $-7,6 \text{ tCO}_2\text{e ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$  e o estoque no solo  $-9,7 \text{ tCO}_2\text{e ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ . Com isso, o balanço de carbono da unidade produtiva estudada contabilizou um valor médio de remoo de  $-17,3 \text{ tCO}_2\text{e ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$  para a safra 2022/2023, com uma pegada de carbono de  $-7,6 \text{ kg CO}_2\text{e/kg}$  para o café verde e balanço de emissão de GEE resultou em  $-15,5 \text{ tCO}_2\text{e ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ .

**Palavras-chave:** *GHG Protocol* Agrícola; Cafeicultura; Mudanças Climáticas.

## ABSTRACT

Brazil is the largest producer and exporter of coffee in the world, yet it faces growing challenges due to climate change, which impact national production, product quality, sustainability, and the economic viability of the activity. Consequently, it becomes imperative to thoroughly understand the impacts of climate change on the coffee production system and to seek innovative solutions to mitigate them. In this regard, this study aims to create a greenhouse gas balance in coffee cultivation, analyzing the sector's history, the coffee production system, climate trends in the producing region, and exploring greenhouse gas mitigation strategies. Data were collected from the main emission and removal sources in a coffee cultivation unit in the Monte Carmelo region, MG, and were treated using the GHG Protocol for Agriculture. As a result, the application of limestone (67%) was found to be the largest emission source, followed by diesel consumption (22%), with smaller sources being electricity consumption (7%) and the use of nitrogen fertilizers (4%). Regarding removal, it was concluded that with plant biomass,  $-7,6 \text{ tCO}_2\text{e ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$  is stored, and in the soil,  $-9,7 \text{ tCO}_2\text{e ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$  is stored. Thus, the carbon balance of the studied production unit accounted for an average removal value of  $-17,3 \text{ tCO}_2\text{e ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$  for the 2022/2023 harvest, with a carbon footprint of  $-7.6 \text{ kg CO}_2\text{e/kg}$  of green coffee and Green Gas Balance  $-15,5 \text{ tCO}_2\text{e ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ .

**Keywords:** Greenhouse Gas Protocol for Agriculture; Coffee Cultivation; Climate Change.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Embarcação de Café no porto de Santos. Foto: Marc Ferrez.....	22
Figura 2 - Boletim informativo semanal.....	27
Figura 3 - Concentrações atmosféricas globais de CO <sub>2</sub> ao longo do tempo.....	29
Figura 4 - Emissões de gases de efeito estufa do Brasil de 1990 a 2020 (GtCO <sub>2</sub> eq) .....	31
Figura 5 - Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil 2019 e 2020.....	32
Figura 6 - Síntese de vida do café .....	34
Figura 7 - Adicionalidade através do uso do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.....	38
Figura 8 - Retorno financeiro resultantes do Mercado Voluntário de Carbono .....	41
Figura 9 - Selos de qualidade sustentável da ABIC .....	53
Figura 10 - Selo Cecafé de qualidade.....	54
Figura 11 - Busca sistematizada de referências bibliográficas .....	64
Figura 12 - Área total da unidade produtiva cafeeira estudada .....	65
Figura 13 – Unidade produtiva dentro delimitação designada pelo Conselho Regulador .....	66
Figura 14 - Selos de certificação nacional e internacional da unidade produtiva estudada. .	67
Figura 15 - Esquemas para análise das fontes de emissão e remoção.....	69
Figura 16 - Proporção de Emissões de GEE (tCO <sub>2</sub> e) por fonte de emissão.....	75
Figura 17 - Valores proporcionais das fontes de remoções de GEE da unidade produtiva estudada.....	76
Figura 18 - Estoque de GEE pelas fontes: solo e biomassa.....	80

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Objetivos Globais segundo a Organização das Nações Unidas.....	30
Tabela 2 - Regiões brasileiras produtoras de café.....	35
Tabela 3 - Classificação e descrição dos Tiers. ....	58
Tabela 4 - Fatores de emissão de queima de óleo diesel (kgCO <sub>2</sub> /L). ....	61
Tabela 5 - Fontes de emissão contabilizadas e suas respectivas aplicações no período da safra. ....	72
Tabela 6 - Valores das remoções calculadas para fontes:biomassa aérea e solo.....	76
Tabela 7 - Média dos diâmetros do tronco de café a 40 cm do solo.....	77
Tabela 8 - Estoque da biomassa acima do solo com idades distintas, considerando o total estocados em massa de carbono e CO <sub>2</sub> . ....	77
Tabela 9 - Variáveis para o cálculo do Estoque de Carbono no solo para cada Talhão. ....	78
Tabela 10 - Estoque de Carbono no solo para cada hectare de acordo com a camada específica. ....	79
Tabela 11 - Estoque de Carbono por Talhão. ....	80
Tabela 12 - Número de plantas, ano de plantio e status em relação ao estoque/remoção dos grupos considerados para o cálculo da biomassa.....	81
Tabela 13 - Médias do estoque atual por hectare e a idade média dos talhões. ....	81
Tabela 14 - Síntese do balanço de emissões/remoções de GEE no sistema produtivo cafeeiro, com referência à área (hectare) para produzir café verde - Safra 2022/23. ....	82
Tabela 15 - Percentual de Emissões de GEE para o consumo de combustível. ....	84
Tabela 16 - Percentual de Emissões de GEE para a aplicação de calcário. ....	85
Tabela 17 - Percentual de Emissões de GEE para a aplicação de fertilizantes.....	86
Tabela 18 - Percentual de Emissões de GEE para o consumo de energia elétrica.....	87
Tabela 19 - Comparações de remoções de GEE da unidade produtiva estudada (safra 2022/23) com estudos. ....	88
Tabela 20 - Emissão/remoção de GEE observado inerente à literatura. ....	88
Tabela 21 - Comparações da fonte de emissão da pesquisa e a média aritmética dos dados dos estudos. ....	89
Tabela 22 - Final da remoção de carbono provenientes dos incrementos de biomassa.....	90

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Responsabilidades do Conselho Nacional de Café.....	26
Quadro 2 - Marcos importantes nas ações para a redução de Gases de Efeito Estufa.....	43
Quadro 3 - Marcos da Sede das Confederação das Partes .....	45
Quadro 4 - Áreas para mensuração.....	49
Quadro 5 - Grupos do IPCC e suas demandas.....	51
Quadro 6 - Órgãos que certificam café em culturas orgânicas.....	55

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

4C – Código Comum da Comunidade Cafeeira;  
ABECAFE – Associação Brasileira dos Exportadores de Café;  
ABIC – Associação Brasileira da Indústria de Café;  
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;  
ABNT/CB-38 – Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental;  
ABNT/CEET – Comissões de Estudos Especiais Temporárias;  
ACV – Análise do Ciclo de Vida;  
APP – Área de preservação Permanente  
BSCA – Associação Brasileira de Cafés Especiais;  
CDPC – Conselho Deliberativo de Política de Café;  
CE – Comissões de Estudos;  
CE-38:009.01 – Comissão de Estudos de Mudanças Climáticas;  
CEBDS – Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável;  
CECAFE – Conselho dos Exportadores de Café do Brasil;  
CNC – Conselho Nacional de Café;  
COP – Confederação das Partes;  
CPC – Centro de Preparação do Café;  
DAB – Diretrizes Agrícolas Brasileiras;  
D.O. – Denominação de Origem;  
EBDA – Empresa Brasileira de Desenvolvimento Agrícola;  
ECB – Emissões de Carbono Biogênico;  
ECO – Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente;  
EE12 – Emissões de Escopo 1 e 2;  
EL – Emissões Líquidas;  
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária;  
EOS – Emissões de Uso e Ocupação do Solo;  
EPAMIG – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais;  
ESG – Mecanismo de Financiamento Ambiental, Social e Governança;  
FEA-USP – Faculdade de Economia e Administração da Universidade de São Paulo;  
FEBEC – Federação Brasileira dos Exportadores de Café;  
FGV – Fundação Getúlio Vargas;  
FMA – Fungos Micorrízicos Arbusculares;  
FUNDCAFE – Fundo de Defesa da Economia Cafeeira;  
GAC – Grupo de Avaliação do Café  
GEE – Gases de Efeito Estufa;  
GHG PROTOCOL – Protocolo de Gases de Efeito Estufa;  
GV – Padrão Ouro;  
GWP – Potencial de Aquecimento Global  
IBC – Instituto Brasileiro de Café;  
ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade;  
ILPF – Integração Lavoura-Pecuária-Floresta;  
INCAPER – Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural;  
IPAM – Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia;  
IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas;  
ISO/TC 207 – Comitê Técnico *Environmental Management*;  
LDC – *Louis Dreyfus Company* Brasil;  
MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento;  
MCV – Mercado Voluntário de Carbono;  
MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo;  
MDS – Mercado de Projetos;

MIF – Manejo Integrado do Fogo;  
MMA – Ministério do Meio Ambiente;  
NMVOC – Compostos Orgânicos Voláteis Não Metálicos;  
ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis;  
OIC – Organização Internacional do Café;  
ONU – Organização das Nações Unidas;  
P&D – Pesquisa e Desenvolvimento;  
P&D&I – Plano de Desenvolvimento Individual;  
PBGHG PROTOCOL – Programa Brasileiro *GHG Protocol*;  
PCS – Programa de Café Sustentável do Brasil;  
PENSA – Centro Avançado dedicado à Gestão e Coordenação de Agronegócios;  
PESAGRO-RIO – Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio de Janeiro;  
PLANO ABC – Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura;  
PLANO ABC+ – Plano de Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária;  
PREV Fogo – Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios;  
PSA – Pagamento por Serviço Ambiental;  
RCB – Remoções de Carbono Biogênico;  
RCE – Redução Certificada de Emissão;  
REDD+ - Mecanismo de Redução de Emissões de Desmatamento e Degradação;  
RL – Reserva Legal;  
RUOS – Remoção do Uso e Ocupação do Solo;  
SAF – Sistema Agroflorestais;  
SAN – Organização Não Governamental Sustainable Agriculture Network;  
SAPC – Serviço de Apoio ao Programa de Café;  
SCAA – Associação Americana de Cafés Especias;  
SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas;  
SEEG – Sistemas de Estimativas de Emissões e Remoções de GEE.  
SIN – Sistema Interligado Nacional.  
SINDCAFE – Sindicato da Indústria de Café do Estado de São Paulo;  
SNPA – Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária;  
T – Talhões;  
UFPA – Universidade Federal de Lavras;  
UFV – Universidade de Viçosa;  
UNEP – Nações Unidas para o Meio Ambiente;  
UNFCCC – Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas;  
UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas;  
USAID - Agência de Cooperação do Governo Americano;  
WBCSD – Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável;  
WMO – Organização Meteorológica Mundial;  
WRI – Instituto de Recursos Mundiais.

# SUMÁRIO

## CAPÍTULO 1

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>18</b>
<b>1.1 Objetivos</b> .....	20
1.1.1 <i>Objetivo Geral</i> .....	20
1.1.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....	20

## CAPÍTULO 2

<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>21</b>
<b>2.1 Panorama histórico do setor cafeeiro</b> .....	21
<b>2.2 Mudanças climáticas</b> .....	27
2.2.1 <i>Mudanças Climáticas no Café</i> .....	32
2.2.1.1 <i>Sistema produtivo cafeeiro</i> .....	33
2.2.1.2 <i>Cafeicultura Mineira</i> .....	34
2.2.1.3 <i>Impacto das mudanças climáticas na produção de café</i> .....	36
<b>2.3 Sequestro de Carbono</b> .....	37
<b>2.4 Métodos de quantificação de GEE</b> .....	43
2.4.1 <i>Inventário de emissões de GEE</i> .....	46
2.4.1.1 <i>Método GHG Protocol</i> .....	48
2.4.1.2 <i>ISO 14064 (Parte 1)</i> .....	50
2.4.1.3 <i>Intergovernmental Painel on Climate Change (IPCC)</i> .....	51
2.4.1.4 <i>Órgãos de certificações e auditorias na produção de café</i> .....	52
<b>2.5 GHG Protocol Agrícola</b> .....	55
2.5.1 <i>Metodologia Numérica</i> .....	58
2.5.1.1 <i>Aplicação de Fertilizantes Orgânicos</i> .....	59
2.5.1.2 <i>Aplicação de fertilizantes nitrogenados sintéticos (Excetos ureia)</i> .....	59
2.5.1.4 <i>Aplicação de ureia</i> .....	60
2.5.1.5 <i>Operações mecanizadas</i> .....	61
2.5.1.6 <i>Energia elétrica</i> .....	62

## CAPÍTULO 3

<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>64</b>
<b>3.1 Área de estudo</b> .....	65
<b>3.2 Procedimento Metodológico</b> .....	67
3.2.2 <i>Estoque de carbono na biomassa</i> .....	69
3.2.3 <i>Estoque de carbono no solo</i> .....	71
3.2.4 <i>Emissões de GEE</i> .....	71
3.2.5 <i>Remoções de carbono da biomassa</i> .....	72
3.2.6 <i>Balanco de emissões e remoções</i> .....	73

## CAPÍTULO 4

<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>74</b>
<b>4.1 Emissão de GEE</b> .....	74
<b>4.2 Remoções de GEE</b> .....	75
4.2.1 <i>Estoque de carbono da biomassa</i> .....	76
4.2.2 <i>Estoque de carbono no solo</i> .....	78
<b>4.3 Balanço de Emissões de GEE</b> .....	82

<b>4.4 Comparativo de dados</b> .....	83
4.4.1 <i>Emissões de GEE</i> .....	83
4.4.1.1 <i>Consumo de combustível</i> .....	84
4.4.1.2 <i>Aplicação de Calcário</i> .....	85
4.4.1.3 <i>Aplicação de Fertilizante</i> .....	86
4.4.1.4 <i>Consumo de energia elétrica</i> .....	86
4.4.2 <i>Remoções de GEE</i> .....	87
4.4.3 <i>Balanço de emissão/remoção GEE</i> .....	88
<b>4.5 Análise</b> .....	89
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>91</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>93</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>102</b>

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas emergiram como uma das questões mais urgentes e complexas que a humanidade enfrenta no século XXI. Com o aumento das concentrações de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, o clima global tem experimentado transformações significativas que resultam em eventos climáticos extremos, como: elevação do nível do mar; derretimento de geleiras e; alterações nos padrões de precipitação. Dentre os setores afetados, a agricultura se destaca como um dos mais vulneráveis às consequências dessas mudanças, com impactos consideráveis na produção de culturas essenciais para a segurança alimentar e a economia global.

Min (2022), Dias, *et al.* (2007) e Dinato (2013), pontuam-se de forma detalhada sobre os elementos que compõe a atmosfera e destacam os principais gases que formam o efeito estufa, assim como eles podem impactar o meio ambiente. Pinho (2019), Brasil (2018) e Vargas (2022), destacam-se os posicionamentos e ações para controlar as mudanças climáticas desde o início e discussão da temática: ECO 92 e Protocolo de Kyoto e; finaliza com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, assim como, as Conferências das Partes.

Em 2020, o Brasil registrou um aumento de 9,5% nas emissões brutas de gases de efeito estufa, atingindo um total de 2,16 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub>eq. Esse aumento ocorreu em um ano marcado pela pandemia da Covid-19, que reduziu as emissões globais em quase 7%. O Brasil parece ser uma exceção, tornando-se possivelmente o único grande emissor do planeta a verificar um aumento nas emissões, indo na contramão do resto do mundo (SEEG, 2023).

Segundo Neufeldt (2021) e Marques (2012), a cultura do café, uma das *commodities* agrícolas mais importantes e amplamente consumidas em todo o mundo, tem enfrentado

desafios crescentes devido às mudanças climáticas. Essa produção é altamente sensível às variações climáticas, com sua qualidade intimamente ligada a fatores como temperatura, precipitação e disponibilidade hídrica. Regiões tradicionalmente adequadas para o cultivo do café têm sofrido alterações em seus padrões climáticos, o que coloca em risco a sustentabilidade e a viabilidade econômica dessa atividade agrícola.

Sarvine (2022) e Santos (2021), destacam a crescente incerteza climática e a ocorrência de eventos climáticos extremos, como secas prolongadas, ondas de calor e chuvas intensas, têm levantado preocupações entre os produtores de café em diferentes partes do globo. Além disso, o aumento das temperaturas e a variabilidade climática têm favorecido a propagação de pragas e doenças que afetam diretamente as plantações de café, o que reduz a produtividade e compromete a qualidade dos grãos.

Carvalho (2019), mostra que altas temperaturas podem alterar a dinâmica de doenças e pragas, aumentam as pragas e diminui as doenças. Pinho *et al.* (2021), explica que essas mudanças climáticas torna as plantas sensíveis alterando o crescimento, flora, frutificação o que altera de forma direta na fotossíntese, modificando o sistema produtivo do café.

Dessa forma, é válido potencializar o processo natural de remoção de carbono a partir de práticas sustentáveis. A remoção de carbono é importante para reduzir a quantidade de CO<sub>2</sub> na atmosfera e mitigar os impactos das mudanças climáticas (LIMA et al, 2022; MUNHOZ e VARGAS, 2022). Além disso, a proteção e o manejo sustentável de ecossistemas naturais que atuam como sumidouros de carbono são essenciais para o equilíbrio do clima global e para a sustentabilidade do nosso planeta.

No Brasil, quando se leva em consideração as emissões líquidas, ou seja, após descontar as remoções de carbono realizadas por florestas secundárias, áreas protegidas e terras indígenas, a participação das emissões do desmatamento decresce para 24%, corresponde a 362 MtCO<sub>2</sub>eq. Em seguida, o setor agropecuário contribui com 27% das emissões brutas, totalizando 577 MtCO<sub>2</sub>eq, seguido pelo setor de energia, que responde por 18% das emissões, ou 394 MtCO<sub>2</sub>eq, e os processos industriais, com uma participação de 5% no total, equivalendo a 100 MtCO<sub>2</sub>. O setor de resíduos equipara a 4% das emissões brutas, somando 92 MtCO<sub>2</sub> (SEEG, 2023).

No que diz respeito às estratégias de mitigação de GEE: Adicionalidade; Protocolo do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo; Créditos de Carbono; Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação as Mudanças Climáticas para um Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura; Plano de Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária (ABC+); Mecanismo de Redução de Emissões de Desmatamento e Degradação (REDD+); Mecanismo de Financiamento Ambiental, Social e Governança (ESG); Pagamento por Serviços Ambientais (PSA); Mercado de Carbono

Nacional e; Sistemas Agroflorestais (CARLOS *et al*, 2022; CÂNDIDO *et al*, 2017; ZAPPAROLI *et al*, 2012).

Dessa forma, torna-se essencial aprofundar a compreensão dos impactos das mudanças climáticas na cultura de café e buscar abordagens inovadoras para enfrentar esses desafios. Nesse contexto, a dissertação em questão tem como objetivo principal a elaboração de um balanço de emissões e remoções de gases de efeito estufa associados à produção de café. Para alcançar esse propósito, a pesquisa se dedica a diversos passos fundamentais, que incluem a contextualização da história do setor cafeeiro, a análise minuciosa do sistema produtivo do café e das tendências climáticas recentes na região de Monte Carmelo, em Minas Gerais, bem como a identificação de possíveis estratégias de mitigação de GEE e a exploração de metodologias para a identificação e quantificação dessas emissões.

Este estudo busca contribuir para o avanço do conhecimento científico sobre o impacto das mudanças climáticas na cultura de café e oferecer auxílios para a formulação de políticas e estratégias voltadas à adaptação e sustentabilidade da cadeia produtiva do café. Somente por meio de um esforço conjunto que envolve produtores, pesquisadores e governos, será possível enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas e assegurar a continuidade da produção de café de alta qualidade e valor econômico, preserva, desse modo, esse ícone da cultura e da economia global.

## **1.1 Objetivos**

### *1.1.1 Objetivo Geral*

Realizar balanço de gases de efeito estufa na cultura de café em uma propriedade situada no município de Monte Carmelo.

### *1.1.2 Objetivos Específicos*

- Explorar o panorama histórico do setor cafeeiro;
- Entender as causas das mudanças climáticas no setor;
- Compreender o sistema produtivo do café e as tendências climáticas da região explorada;
- Verificar as possíveis estratégias de mitigação de GEE e;
- Analisar os métodos de quantificação de GEE.

## CAPÍTULO 2

### REVISÃO DE LITERATURA

Inicialmente, fez-se uma análise geral sobre o histórico e evolução do setor cafeeiro; foi explorado o sistema produtivo do café e a correlação da análise de ciclo da cultura desse produto com o meio do sistema; foi mostrado os principais GEE, o sequestro de carbono, os principais métodos científicos que subsidia a quantificação de gases de efeito estufa e a metodologia que compõe o inventário de GEE; foi explorado o *GHG Protocol Agrícola* e as aplicações viáveis para o setor de café; e por fim, com a exposição de como as atividades do setor impactou o meio ambiente.

#### **2.1 Panorama histórico do setor cafeeiro**

O marco histórico da economia no Brasil foi a expansão do café, que teve início por volta do ano de 1727. Um oficial de Portugal, Francisco de Melo Palheta, trouxe para o Brasil as primeiras mudas da planta, que foram plantadas primeiro no Pará e se espalhou por outras regiões, com sucesso, por virtude do clima e as condições do solo. Dessa forma, São Paulo, Minas Gerais e regiões do Sudeste tornaram o país o maior produtor mundial no setor cafeeiro

no final do século XIX pela demanda dos mercados consumidores europeus e estadunidenses (SILVA,1976; PATINO; PASETO, 2021).

O café originou-se na Etiópia, passou pelo império árabe e chegou à Europa no século XVII. Sua plantação no Brasil foi financiada por fazendeiros e comerciantes que se beneficiaram economicamente com a chegada da família real em 1808. Na época, as técnicas de produção de café eram simples, incluíam desmatamento, crescimento de mudas, cultivo de outras plantas, colheita manual por escravos, secagem em terreiros, beneficiamento com monjolos movidos a água e transporte por mulas para exportação (PINTO, 2023).

Pinto (2023), mostra que o aumento da produção e lucros foi um marco inicial na modernização da economia e da sociedade do país e trouxe várias modificações como: construção de ferrovias, maior velocidade de transporte modal que interligou regiões do Império, intensificou a agricultura no início das décadas de 1860 e; fortaleceu o Porto de Santos, onde era o local principal para escoar o produto, como mostra a Figura 1.

Figura 1 – Embarcação de Café no porto de Santos. Foto: Marc Ferrez



Fonte: PINTO (2023, p. 03).

Silva (1976) destaca que, no Brasil, o café desempenhou um papel crucial tanto como marco do início da industrialização quanto como fator limitante dessa industrialização desde aproximadamente 1727. Em meados da década de 1850, a produção alcançava três milhões de sacas. Nas duas ou três décadas seguintes, a produção cresceu de maneira exponencial, consolidando-se como o motor central do desenvolvimento do capitalismo no Brasil.

Assim que as atividades foram se desenvolvendo, variados desafios, como: doenças, pragas, comercialização interna e externa, entre outras inerentes ao ciclo do café surgiram. Dessa forma, foram projetadas ações para que as atividades do setor produzissem com mais eficiência e eficácia. EMBRAPA (2023), SINDCAFE (2023) e CNC(2023), nos mostra com mais clareza como essas atividades foram organizadas e executadas nesse país.

SINDCAFE (2023), pontua que todos os desafios foram questionados e debatidos, de tal forma, que levou a criação do Sindicato da Indústria de Café (SINDCAFE) do Estado de São Paulo no ano de 1937, as pautas desenvolvidas foram: campanhas pelo aumento do consumo interno, já que o consumo, até então, era de grande percentagem para o exterior e; combate à fraude, além da tributação que era imposta sobre o setor.

Na década de 50, criaram-se institutos de pesquisas que desenvolveriam métodos científicos para lidar com os desafios bioquímicos da época: doenças, pragas, estudo dos solos, entre outras variáveis inerentes aos problemas dos desenvolvimentos das atividades (EMBRAPA, 2023). O SINDCAFE apoia a criação da Associação Brasileira da Indústria de Café (ABIC), iniciada no ano de 1970 (SINDCAFE, 2023).

A ABIC foi fundada em 1973 com o objetivo de representar as indústrias nacionais de café. Entre as décadas de 1970 e 1980, houve uma queda no consumo e nas vendas de café devido a interferências governamentais, preços congelados e concorrência no mercado. A produção caiu de 8,15 milhões de sacas em 1965 para 6,5 milhões em 1985. A ABIC foi criada com o apoio de SINDCAFES regionais para unir esforços na defesa dos interesses da indústria (ABIC, 2023).

Em 1973, funda-se o primeiro Instituto Brasileiro do Café (IBC), cujos objetivos eram: definir políticas específicas para o setor cafeeiro e gerir as estratégias desde a produção até a comercialização do produto, tanto interno quanto externo; oferecer suporte técnico e econômico às cafeiculturas e; promover estudos e pesquisas inerentes aos diversos aspectos culturais e econômicos das atividades cafeeiras no Brasil (EMBRAPA, 2023).

O Conselho Nacional de Café (CNC), inicia suas atividades dentro dos prédios da IBC em 1981, onde exerce influência de cunho político e nas ações de melhorias (CNC, 2023). A EMBRAPA explica que um dos marcos importantes da IBC foi a criação do Fundo de Defesa da Economia Cafeeira (Fundcafe) em 1986, através dos recursos advindos de cotas de contribuições inerentes às exportações de café para o financeiro da produção às novas pesquisas (EMBRAPA, 2023). O CNC, informa que trabalha de forma efetiva para que as aplicações dos recursos do Fundcafe, sejam mais aprimoradas, resultou em melhores condições para as instituições e organizações que promovem pesquisas e estudos práticos (CNC, 2023).

Em agosto de 1989, a ABIC lançou o Programa de Autofiscalização da Indústria de

Café, conhecido como Selo de Pureza ABIC. Este programa, implementado em 1991 após a regulamentação do Código de Proteção e Defesa do Consumidor, elevou os indicadores de qualidade, particularmente no mercado interno. Além disso, forneceu uma nova identidade empresarial para o setor e capacitou as indústrias com informações técnicas e gerenciais para aprimorar a qualidade e produtividade (ABIC, 2023).

Em 1990, o IBC foi extinto pelo decreto nº 99.240, de acordo com a publicação do Diário em 08 de maio para reformular a máquina estatal deliberada pelo governo Collor, sendo assim, a gerência das políticas exclusiva para o café e seus produtores passou a ser administrada pelo estado, que obedecia as restrições dos interesses de cada setor em sua especificidade (CUNHA, 2018).

Desse modo, as instituições que trabalhavam com café chegaram em um consenso que era necessário mais embasamentos científicos. Dessa forma, foi criado em 1996 o Conselho Deliberativo de Política de Café (CDPC), concatenado ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) com o objetivo de criar políticas públicas, no que diz respeito a produção cafeeira, comércio (interno e externo) e marketing, assim como, viabilizar programas de pesquisas agrônômicas e mercadológica para subsidiar o desenvolvimento do sistema agroindustrial do café (EMBRAPA, 2023).

Vale salientar, que a CDPC conjunta com a coordenação da Embrapa se reuniram em parceria com as instituições que agregam o Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária (SNPA), como institutos, universidades do Brasil e iniciativas privadas do agronegócio café e criaram, em 1996, o Programa Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento do Café. Programa esse, conhecido como Programa Pesquisa Café, que busca: contemplar toda a cadeia produtiva; desenvolver pesquisas científicas e tecnológicas; promover estudos socioeconômicos; difundir tecnologias e informações e; acompanhar a economia cafeeira nacional e mundial (EMBRAPA, 2023).

No ano de 1997, criaram-se o Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café, chamado de Consórcio Pesquisa Café que está incumbido de planejar e executar as pesquisas. O termo da constituição do Consórcio foi motivo de celebração pela: Embrapa; Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola (EBDA); Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG); Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER); MAPA; Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio de Janeiro (Pesagro-Rio); Universidade Federal de Lavras (UFLA) e; Universidade Federal de Viçosa (UFV) (EMBRAPA, 2023).

Em agosto de 1999, a Embrapa estabeleceu o SAPC para gerenciar o Programa de Pesquisa Café e coordenar as atividades de P&D relacionadas ao café em nível federal, focou em metas estratégicas para resolver desafios na indústria cafeeira brasileira e fortalecer o

Consórcio de Pesquisa Café. Em julho de 1999, o CECAFE foi criado para promover as exportações de café do Brasil, responder à necessidade de formalizar estratégias que beneficiem o setor (EMPRABA, 2023).

Dessa maneira, professores da Faculdade de Economia e Administração da Universidade de São Paulo (FEA-USP) por meio de um centro avançado, que desenvolve à Gestão e Coordenação de Agronegócios em situações nacionais e internacionais (PENSA) fundiram-se duas vertentes representativas: Associação Brasileira dos Exportadores de Café (ABECAFE) e Federação Brasileira dos Exportadores de Café (FEBEC), formando o CECAFE (CECAFE, 2023).

Em 23 de março de 2022, aconteceu uma reunião com 26 organizações na Fundação Getúlio Vargas onde foi fundado o OC (Observatório do Clima) em categorias: mudanças climáticas; mudanças do uso do solo; desenvolvimento sustentável e informação e; comunicação. Dessa forma, a partir de 2013, o OC entra na fase da geração de dados e cria-se o SEEG (Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa) (OC, 2023).

O SEEG, envolve a elaboração de estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil e a produção de documentos analíticos sobre sua evolução. Além disso, inclui um portal para divulgação de métodos e dados de forma acessível. O SEEG também catalogou ações de mitigação e adaptação municipais para promover o desenvolvimento sustentável, envolvendo atores-chave. Atualmente, a iniciativa identificou 87 soluções em setores como Transportes, Energia Elétrica, Resíduos, Agropecuária e Mudanças de Uso da Terra e Florestas (SEEG, 2023).

Atualmente, a indústria do café conta com uma diversidade de sindicatos em cada estado, cada um dedicado ao aprimoramento contínuo do setor. Por meio de Grupos de Avaliação do Café (GAC), essas organizações trabalham arduamente para desenvolver estratégias e iniciativas que impulsionem a qualidade e a produtividade. Além disso, através dos Centros de Preparação do Café (CPC), são oferecidos uma ampla gama de cursos para formação e capacitação de profissionais.

Estes centros, munidos de recursos e instrutores qualificados, proporcionam treinamentos abrangentes que abarcam desde análises físicas até análises analíticas avançadas. Nesse esforço conjunto, são produzidos relatórios detalhados que fornecem *insights* valiosos para os produtores e demais *stakeholders* da indústria, como o Sindicafé do estado de SP (SINDCAFE, 2023).

A ABIC possui uma influência notável na esfera global do café. Ela é reconhecida como representativa perante a Organização Internacional do Café (OIC), que engloba diversos países produtores e consumidores de café. Atua como um modelo para outros 60 países que consomem essa *commodity* em todo o mundo. Os procedimentos e diretrizes estabelecidos

pela ABIC são considerados um valioso guia para nações que buscam melhorar suas práticas e regulamentações no setor cafeeiro. Isso evidencia o impacto positivo e a influência da ABIC no desenvolvimento e promoção do café, tanto em âmbito nacional como internacional (ABIC, 2023).

O CNC é um órgão representativo da produção de café no Brasil, que atua no governo, no Congresso e em diferentes setores do ciclo produtivo. Além disso, desempenha um papel ativo em organizações internacionais. Sua atuação é essencial para defender os interesses dos produtores, promover o desenvolvimento sustentável do setor e fortalecer a posição do Brasil no mercado global de café. É ativo nas ações que agrega profissionalmente os produtores, as associações e cooperativas no que diz respeito às responsabilidades listadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Responsabilidades do Conselho Nacional de Café.

SEQ.	AÇÕES
1	Fortalecer a relação política e institucional, em busca de valorização do setor financeiro.
2	Preservar e fomentar a melhor utilização dos recursos do Fundcafé.
3	Defender ao máximo a renda do setor produtivo.
4	Criar projetos que facilitem a produção sustentável da cafeicultura brasileira.
5	Acompanhar e possibilitar a competitividade do setor produtor.
6	Colaborar na ampliação da participação do Brasil no mercado internacional de café e fortalecer o consumo doméstico e exterior.
7	Lutar contra as especulações constante do mercado comprador.
8	Proporcionar acesso às pesquisas e a inclusão de novas tecnologias, em busca de uma produção mais sustentável em todos os aspectos: econômicos, social e ambiental.

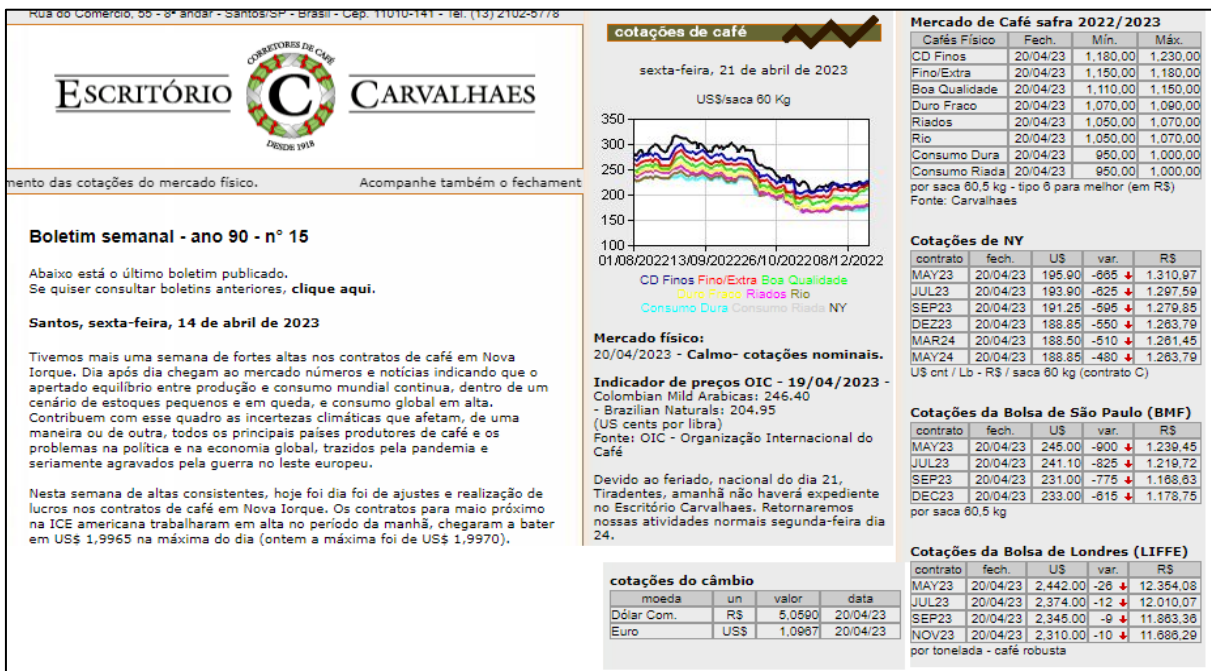
Fonte: Adaptado de CNC (2023).

Informações gerais diárias sobre o café para os produtores, compradores e investidores que precisam tomar decisões sobre compra, venda e investimento nesse mercado, baseado nas tendências de preços e demanda. O acesso aos dados atualizados, ajuda na elaboração de estratégias de produção, estoque e *marketing*, e permite adaptação eficaz as mudanças de mercado (CARVALHAES, 2023).

O monitoramento das cotações e indicativos ajuda a gerenciar os riscos financeiros, como variações de preços e flutuações cambiais, protege os interesses dos envolvidos. O conhecimento da variedade de produtos e preços auxilia a na identificação de oportunidades para diversificação e inovação, tornando os negócios mais competitivos. As cotações internacionais oferecem uma visão ampla do mercado global de café, que é crucial para entender como as tendências e eventos internacionais afetam o setor (CARVALHAES, 2023).

O Escritório Carvalhaes, divulga semanalmente o boletim informativo para seus clientes em uma plataforma de fácil acesso, mostra todos os indicadores de forma sintetizadas e claras, como: cotações nacionais e internacionais; gráfico de preços e variedade de produtos; situação de mercado físico; entre outras informações (Figura 2). Além de atuação nas áreas de corretagem, o escritório: promove laudos; aprovação de amostras e embarcações e; exportação do produto.

Figura 2 - Boletim informativo semanal



Fonte: CARVALHAES (2023, p. 01).

O CECAFE representa atualmente, todo o setor exportador cafeeiro e trabalha de forma regulamentada, segue códigos de ética e conduta, regulamenta todas atividade das empresas, no que diz respeito as exportações de café, respeita assuntos e práticas sustentáveis, assim como, pautas ligadas ao bem-estar da sociedade em geral, principalmente, aos cidadãos brasileiros e sempre destaca a valorização dos valores éticos e morais inerentes ao setor exportador cafeeiro, como um todo (CECAFE, 2023).

## 2.2 Mudanças climáticas

Pesquisas científicas e relatórios internacionais, apontam mudanças climáticas comumente referidas como aquecimento global com consequências de longo alcance tanto para o meio ambiente quanto para a sociedade humana (MIN, 2022).

A conservação dos gases atmosféricos é crucial para a manutenção da vida na Terra.

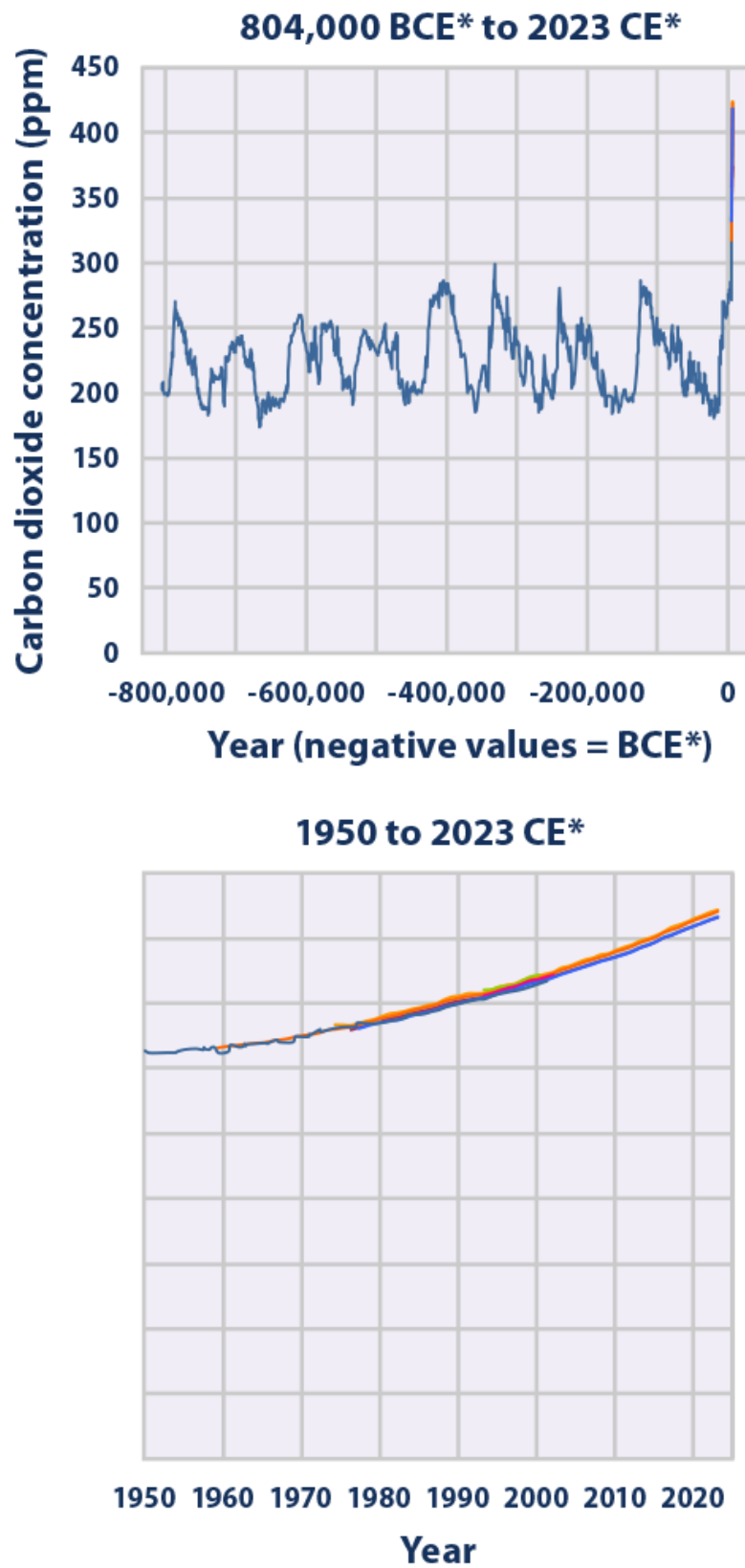
A Revolução Industrial ameaça essa conservação, levou a na atmosfera e complexas questões ambientais. Os impactos incluem o efeito estufa, aquecimento global e mudanças climáticas, causados pela concentração de gases na atmosfera, que bloqueiam e refletem os raios solares, resultando no efeito estufa (ANDRADE; COSTA, 2008, DINATO, 2013; BRITO; GARCIA, 2020).

Os fenômenos naturais observados no meio ambiente são resultado de processos físicos que derivam da composição da atmosfera terrestre. A atmosfera é composta por uma variedade de gases, entre os quais o nitrogênio ( $N_2$ ) predomina com uma concentração de 78,09%. Outros gases presentes incluem o oxigênio ( $O_2$ ), o argônio (Ar), o dióxido de carbono ( $CO_2$ ), o neônio (Ne), o hélio (He), o metano ( $CH_4$ ), o criptônio (Kr), o hidrogênio ( $H_2$ ), o xenônio (Xe) e o ozônio ( $O_3$ ). O ozônio, por exemplo, está presente em concentrações muito baixas, cerca de  $1,0 \times 10^{-8}\%$ . Entre os gases de efeito estufa (GEE), o vapor d'água é o mais abundante, representando aproximadamente 85% da contribuição total para o efeito estufa. Outros GEE significativos incluem o dióxido de carbono ( $CO_2$ ), o metano ( $CH_4$ ), o óxido nitroso ( $N_2O$ ) e os clorofluorcarbonetos (CFCs) (DIAS *et al.*, 2007).

Nas últimas décadas, a concentração de GEE aumentou devido ao crescimento das atividades industriais, agrícolas e de transporte (DINATO, 2013). Na agricultura, as principais fontes de emissão são o uso de fertilizantes, a gestão de solos orgânicos, resíduos agrícolas e, especialmente, a pecuária bovina, que responde por mais de 70% das emissões agropecuárias, além do metano das culturas de arroz inundadas (BRITO; GARCIA, 2020). Essa tendência demanda a adoção urgente de práticas sustentáveis para reduzir os impactos ambientais e as mudanças climáticas associadas.

Em 1997, foi elaborado o Protocolo de Kyoto, um acordo internacional assinado na cidade de Kyoto, no Japão, com o objetivo de reduzir as emissões de GEE, em particular o dióxido de carbono. O cumprimento desse acordo representa um desafio significativo, uma vez que requer a implementação de novas estruturas de gestão ambiental integradas. Cada país precisa descentralizar a tomada de decisões, a fim de garantir que as gerações futuras possam usufruir dos recursos naturais de maneira sustentável (ANDRADE; COSTA, 2008).

O  $CO_2$  é o GEE mais preocupante devido à sua alta concentração na atmosfera, persistência de longo prazo e contribuição para o aquecimento global. Sua redução é mais viável em comparação com outros componentes, através da transição para fontes de energia mais limpas (DINATO, 2013). A Figura 3 mostra as concentrações de  $CO_2$  na atmosfera desde milhares de anos até 2021, em partes por milhão (ppm), provenientes de estudos com núcleos de gelo e monitoria recente (EPA, 2023).

Figura 3 - Concentrações atmosféricas globais de CO<sub>2</sub> ao longo do tempo.

Fonte: EPA (2023, p.01).

A ONU (Organização das Nações Unidas) é uma organização internacional fundada após a Segunda Guerra Mundial, composta por 193 Estados-membros, com o propósito de promover a cooperação global, manter a paz, melhorar as condições de vida e defender os direitos humanos em todo o mundo. Opera por meio de diversos órgãos e agências, como a Assembleia Geral, o Conselho de Segurança e a Corte Internacional de Justiça, desempenha um papel crucial na resolução de conflitos, assistência humanitária, desenvolvimento sustentável e na promoção da paz e segurança internacionais (SOARES, 2022).

O Protocolo de Kyoto tem como fundamento a ONU. Depois da Segunda Guerra Mundial surge uma discussão inerente a preservação do meio ambiente e as práticas sustentáveis que foi consolidada em 1972, na Suécia, e ficou chamada de Conferência das Nações Unidas. Claro que houve inúmeras reuniões para implementar ações para potencializar a diminuição dos impactos negativos no ecossistema (SOARES, 2022).

Em 2015, foram listados 17 objetivos globais conhecido como a Agenda 2030 (Tabela 1), que se trata de ações que precisam ser realizadas nos próximos quinze anos a partir da data de definição com o objetivo de conservação do meio ambiente (ONU, 2022).

Tabela 1 - Objetivos Globais segundo a Organização das Nações Unidas

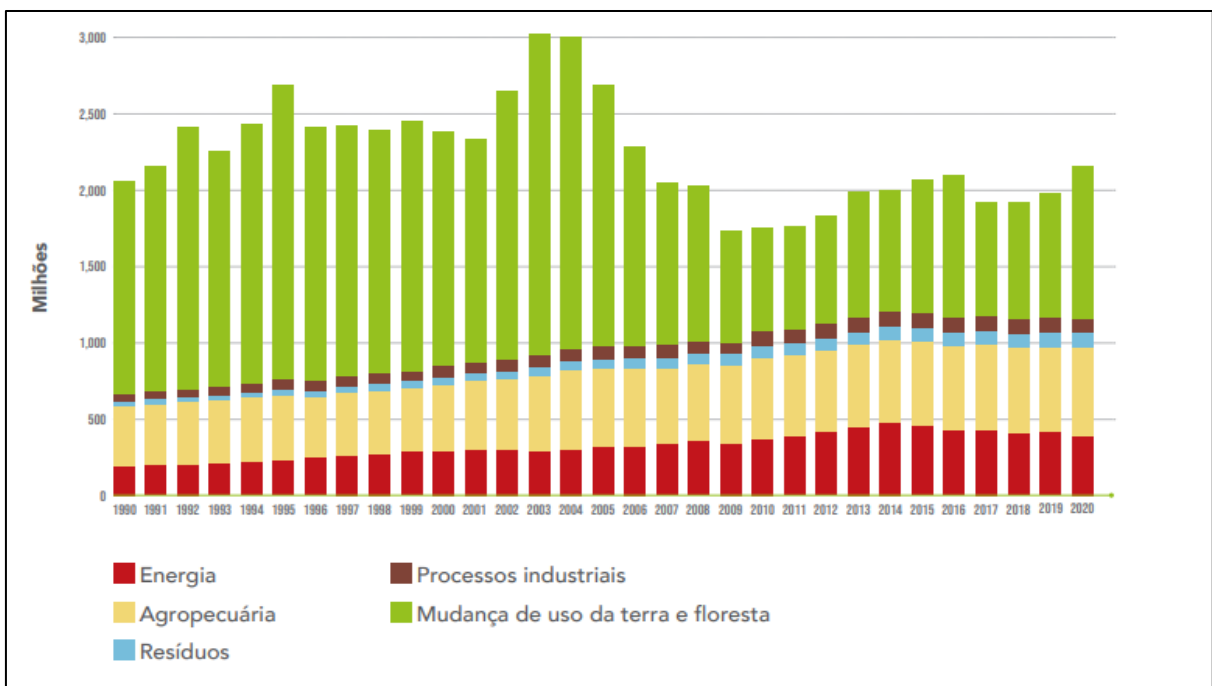
<b>POSIÇÃO</b>	<b>OBJETIVOS GLOBAIS</b>
1	Erradicação da Pobreza
2	Fome zero e Agricultura Sustentável
3	Saúde e Bem-Estar
4	Educação de Qualidade
5	Igualdade de Gênero
6	Água Potável e Saneamento
7	Energia Limpa e Acessiva
8	Trabalho Decente e Crescimento Econômico
9	Indústria, Inovação e Infraestrutura
10	Redução das Desigualdades
11	Cidades e Comunidades Sustentáveis
12	Consumo e Produção Responsáveis
13	Ação contra a Mudança Global do Clima
14	Vida na Água
15	Vida Terrestre
16	Justiça e Instituições Eficazes
17	Paz, Parcerias e Meios de Implementação

Fonte: ONU (2022, p. 09).

No Brasil, o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), desenvolvido pelo Observatório do Clima, desempenha um papel fundamental nesse cenário. O SEEG compila dados e produz documentos analíticos e estatísticos de alta relevância, oferecendo *insights* para o enfrentamento dos desafios relacionados à sustentabilidade e à luta contra as mudanças climáticas. Esses esforços desempenham um papel crucial no desenvolvimento de políticas e práticas ambientalmente responsáveis e na promoção de um futuro mais sustentável para o Brasil e o mundo (SEEG, 2023).

O último relatório indica que no ano da pandemia, houve uma redução de aproximados 7% nas emissões de GEE em todo mundo, já que a Covid-19 parou a economia geral. Já no Brasil, houve um aumento de 9,5% nas emissões de GEE, entrando no *ranking* de maior emissor do mundo. A emissões no país nesse período, atingiu a quantidade de 2,16 bi tCO<sub>2</sub> sendo que antes pandemia, 1,97 bi tCO<sub>2</sub>. Dessa forma, conclui-se que essa quantidade verificada em 2020 foi a maior, desde 2006, conforme mostra a Figura 4 (SEEG, 2023).

Figura 4 - Emissões de gases de efeito estufa do Brasil de 1990 a 2020 (GtCO<sub>2</sub>eq)



Fonte: SEEG (2023, p. 02).

O aumento nas emissões de GEE se justifica pela frequência crescente do desmatamento, particularmente nas regiões da Amazônia e do Cerrado. Essas ações, resultantes mudanças no uso da terra, provocaram a liberação de GEE na atmosfera, elevou os índices para 41,6% do total bruto. Esse aumento equivale a 998 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> emitidas. É importante destacar que essa tendência reflete a necessidade de abordar os desafios associados à gestão do uso da terra e à conservação

ambiental em prol da mitigação das mudanças climáticas (SEEG, 2023).

A utilização do fogo contribui para o desmatamento e é considerada nos indicadores de mudança de uso da terra e floresta. De acordo com Ane Alencar, diretora de ciência do Instituto Ambiental da Amazônia (IPAM), há uma correlação entre desmatamento e queimadas. Portanto, é necessário aumentar os investimentos na prevenção de incêndios, ampliar o escopo para além do Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios (PREVfogo), Corpo de Bombeiros, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMbio) e brigadas, incluindo medidas de prevenção e o Manejo Integrado do Fogo (MIF) (CUSTODIO, 2024).

O setor agropecuário representa a segunda posição no *ranking* de emissões, contribuindo com um índice significativo de 27% das emissões brutas. Este destaque reforça a importância de adotar práticas sustentáveis na agricultura e pecuária para reduzir as emissões de GEE. O setor de energia elétrica atingiu 18% (Figura 5). Essa dinâmica ressalta a necessidade de focar em soluções que promovam uma transição mais limpa e sustentável no setor energético, visando à redução das emissões de gases de efeito estufa (SEEG, 2023).

Figura 5 - Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil 2019 e 2020

SETORES	2019	%	2020	%	VARIAÇÃO 2019-2020
Agropecuária	562.987.702	29%	577.022.998	27%	2,5%
Energia	412.466.747	21%	393.705.260	18%	-4,5%
Processos Industriais	99.472.616	5%	99.964.389	5%	0,5%
Resíduos	90.399.714	5%	92.047.812	4%	1,8%
Mudança de Uso da Terra e Floresta	806.996.124	41%	997.923.296	46%	23,7%
<b>Total Emissões Brutas</b>	<b>1.972.322.903</b>		<b>2.160.663.755</b>		<b>9,5%</b>
<b>Total Emissões Líquidas</b>	<b>1.336.613.309</b>		<b>1.524.954.161</b>		<b>14,1%</b>

Fonte: SEEG (2023, p. 05).

### 2.2.1 Mudanças Climáticas no Café

Antes de descrever sobre as mudanças climáticas inerentes ao setor cafeeiro, é importante ressaltar o sistema produtivo dessa produção, assim como, destacar o bioma e a fitofisionomia da região explorada nesse trabalho.

### 2.2.1.1 Sistema produtivo cafeeiro

De uma forma em geral, é entendido que para a realização de serviço ou fabricação de um produto é necessário que haja itens de entrada (*inputs*) e saídas (*outputs*), essa é a definição básica de Sistema Produtivo (PESSÔA; SPINOLA, 2014).

A produção de café está caracterizada no Sistema Produtivo da agroindústria e pode ser descrito através da Análise do Ciclo de vida (ACV) deste produto e seus quatro estágios básicos dos produtos agroindustriais (BRANDALISE, 2006).

Para Claudino e Talamini (2012), o Sistema de Produção voltada para o agronegócio tem como requisito números significativos para recursos de entradas o que impactam o meio ambiente, nesse sentido ACV é uma ferramenta que avalia o desempenho ambiental de um produto específico, onde é permitido identificar e quantificar energias e matérias-primas utilizadas no seu ciclo produtivo. Segundo a ABCV (2022), ACV vem da tradução do termo em inglês "*life cycle assessment*" e em alguns países da Europa "*ecobalance*" ou eco equilíbrio, com o objetivo de melhorias na eficiência da produção, consumo e trajeto final de produtos ou serviços agroindustriais.

Brandalise (2006) mostra que as fases do ACV resume a:

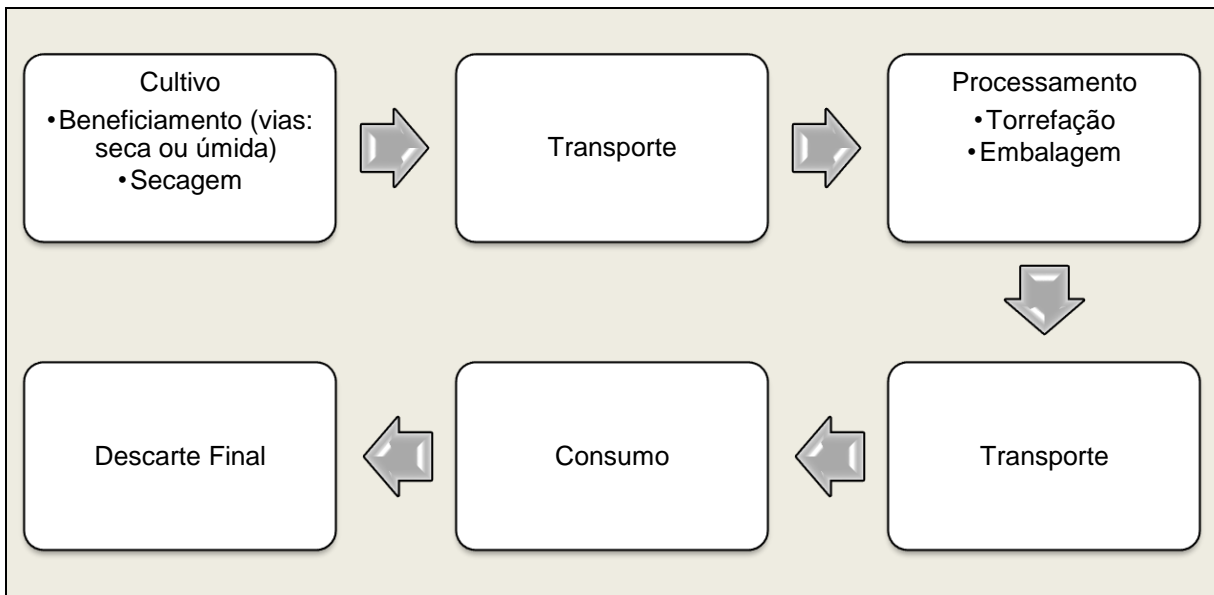
- Objetivo e Escopo (propósito, escopo, unidade funcional, definição dos requisitos de qualidade);
- Análise de Inventário (entrada + saída, coleta de dados, aquisição de MP e energia, manufatura e transportes);
- Avaliação de Impacto (classificação, saúde ambiental, saúde humana, exaustão dos recursos naturais, caracterização, valoração);
- Interpretação (identificação dos principais problemas, avaliação, análise de sensibilidade, conclusões).

O café brasileiro é amplamente consumido na forma de bebida, e sua qualidade está ligada a diversos fatores, como a variedade do grão, o processo de preparação e outros elementos que afetam o sabor e aroma. Essa qualidade é particularmente importante para atender às expectativas dos consumidores exigentes, que geralmente se encontram em países industrializados, como os Estados Unidos, Japão e países europeus. Portanto, o setor de varejo global deve garantir a disponibilidade de produtos de alta qualidade e garantir a segurança alimentar para atender a esses padrões (LEME; PINTO, 2018).

O processo de produção nas plantações de café envolve diversas etapas distintas (Figura 7). Inicialmente, a jornada começa em viveiros, onde as sementes são plantadas e germinam para dar origem às mudas de café. Posteriormente, essas mudas são transplantadas para o solo, marcando o início do cultivo do café. A etapa de colheita pode ser

realizada de maneira mecânica ou manual, de acordo com a preferência e as condições locais. Após a colheita, o café é submetido a um processo de separação, visando a remoção de folhas, galhos e outras impurezas. Em seguida, ocorre o beneficiamento, que pode ser realizado tanto de forma úmida quanto seca. Essas fases representam a complexa e cuidadosa jornada que o café percorre desde seu início até se tornar um produto de alta qualidade pronto para o consumo (FREITAS, *et al.*, 2021).

Figura 6 - Síntese de vida do café



Fonte: FREITAS *et al.* (2021, p. 04).

Próxima etapa, consiste na secagem que geralmente acontece em regiões planas, com grãos expostos a luz solar ou secadores mecanizados. Depois da secagem, o produto é embalado em sacas (60kg) e posto em lotes de armazenagem para serem transportados para as distribuidoras e/ou outros países. A terceira etapa, trata-se da preparação da bebida, através da torrefação, moagem e embalagem para finalizar o uso.

### 2.2.1.2 Cafeicultura Mineira

O Brasil é o maior produtor, consumidor e exportador de café (ABIC, 2023). O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) é responsável por estabelecer portarias que são atualizadas e colocadas em execução para assegurar que a produtividade cafeeira no Brasil seja feita de forma responsável (MAIO;TAVORA, 2023).

De acordo com a ABIC, é possível ordenar as regiões que mais produzem café no Brasil. Os dados mostram que Minas Gerais é o estado que mais produz café com o percentual

de 50% relacionado aos outros estados, sendo 100% do tipo Café Arábica, onde exportam os produtos através dos portos de Rio de Janeiro, Santos e Vitória, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Regiões brasileiras produtoras de café

ESTADOS	POSIÇÃO	MILHÕES SACAS (60kg)	REGIÕES
Minas Gerais	1º Lugar	24,5	Sul de Minas, Cerrado de Minas, Chapada de Minas, Mata de Minas.
Espírito Santo	2º Lugar	8,9	Conilon Capixaba e Arábica ao Sul
São Paulo	3º Lugar	4,4	Mogiana e Centro-Oeste Paulista
Bahia	4º Lugar	3,4	Planalto da Bahia e Cerrado da Bahia
Paraná	5º Lugar	1,9	Todo o estado
Rondônia	6º Lugar	1,2	Todo o estado

Fonte: Adaptado de ABIC (2023).

O clima no cerrado mineiro favorece a produtividade no manejo da lavoura. O fator econômico é bem mais viável em virtude do processo produtivo que ocorre de forma natural, isto é, os frutos são secados apenas a luz solar e o cultivo tem sua florada de forma concentrada que resulta no amadurecer uniformizado, de modo que o aroma se torne específico e o produto fica mais adocicado (PATINO; PASETO, 2021).

Desta maneira, as atividades de produção no café no estado mineiro, recebe grande atenção de políticas governamentais o que permite: inovações tecnológicas; de regulamentação; e financiamentos. No que tange à economia, o estado de Minas Gerais é responsável 54,3% das *commodity* relacionadas aos outros estados e regiões na produção cafeeira (PEREIRA *et al.*, 2019).

Patino e Paseto (2021), explica que o cerrado mineiro atende a procura por boas práticas agronômicas, como os processos de: irrigar, manejar, integrar e precisão, assim como, boas respostas à cafeicultura moderna (irrigação com alta produtividade mediante geografia), mecanização (bem executada, em virtude da topografia) e adubação.

Este estudo foi conduzido na região de Monte Carmelo, localizada no estado de Minas Gerais. A região é caracterizada por uma altitude de aproximadamente 890 metros acima do nível do mar e está classificada como clima Aw (Savanas Tropicais). O solo predominante é classificado como Latossolo Vermelho distroférico, situada na zona de transição entre dois biomas: Cerrado e Caatinga. O Cerrado é caracterizado por uma combinação única de tipos de vegetação, incluindo savanas, campos e florestas. Por outro lado, a Caatinga é uma região semiárida caracterizada por vegetação resistente à seca, o que corrobora para sua alta biodiversidade e importância ecológica (DIAS *et al.*, 2020; FAGUNDES *et al.*, 2018).

O estudo realizado em Montes Claros, agrega completamente ao entendimento do bioma e fitofisionomia de Monte Carmelo, que também apresenta um clima Aw, indicando um clima de savana tropical. As características climáticas e de vegetação de Monte Carmelo são semelhantes a outras áreas do estado de Minas Gerais, como Montes Claros. Monte Carmelo, assim como Montes Claros, possui invernos secos e verões chuvosos (SOUZA *et al.*, 2019).

As plantas do cerrado têm uma altura que varia de 2 a 10 metros. Dessa forma, a região de Monte Carmelo é biodiversa e composta pelos biomas: Cerrado e Caatinga. O bioma do Cerrado, que abrange uma vasta área no Brasil central e partes do Paraguai e da Bolívia, é conhecido por sua vegetação semelhante a savana e é considerado um dos 25 pontos críticos de biodiversidade e do mundo. Por outro lado, o bioma da Caatinga é exclusivo do Brasil e contém uma parte significativa de seu patrimônio biológico (MORAIS *et al.*, 2022).

O ecótono Cerrado-Caatinga em Monte Carmelo abrange 1,3% do território brasileiro e é caracterizado por planaltos montanhosos e uma flora de savana diversa. A combinação desses dois biomas em Monte Carmelo cria uma zona de transição ecológica única, ou ecótono, com características distintas de vegetação que desempenha um papel crucial no suporte a uma ampla variedade de espécies vegetais e animais (MENDES *et al.*, 2021).

Em suma, o bioma do Cerrado em Monte Carmelo é caracterizado por planaltos e flora de savana, que consiste em uma variedade de tipos de vegetação, incluindo campos, arbustos e florestas. Habitat para uma ampla variedade de espécies vegetais e animais, muitas das quais são endêmicas do bioma do Cerrado. Essa biodiversidade é atribuída à combinação única de fatores ambientais, incluindo composição do solo, condições climáticas e perturbações naturais, como incêndios (MENDES *et al.*, 2021).

A região sul mineira é que mais produz em nível nacional, produtos cafeeiros, em virtude da região que é montanhosa, com colheita manual e de sua área resultantes das intersecção dos biomas: Cerrado e Mata Atlântica. Sobre os aspectos dos sistemas produtivos do café nessa região, não utilizam-se sistemas agroflorestais, em sua maioria, utilizam-se monocultivo, "quando bem manejadas, a área possui uma grande quantidade de resíduo de alta C/N em toda área, seja liteira oriunda da senescência de folha, resíduos de podas e beneficiamento" (IMAFLOA, 2022).

### *2.2.1.3 Impacto das mudanças climáticas na produção de café*

As condições climáticas na agricultura variam de acordo com a região de cultivo, assim como, o crescimento e a altitude estão relacionadas com a mudança no uso da terra, elevação e inclinação. Dessa forma, as alterações nas condições climáticas ou variabilidade climática,

afetam a produtividade da produção, a rentabilidade e o uso da terra (NEUEFELDT *et al.*, 2021).

Na produtividade de café, no contexto de mudanças climáticas, é necessário pensar estrategicamente em curto prazo como acontece na maioria das análises. Previsões para países produtores de café mostram cenários de alta incerteza decorrentes dos efeitos esperados sobre essa pauta, tornando-se um viés preocupante que é necessário discutir e pesquisar. Logo, estudos têm sido feitos para melhor compreensão dos impactos das mudanças climáticas na produção de café (SARVINA *et al.*, 2022).

As mudanças climáticas podem: reduzir a produção de café; comprometer a qualidade do produto; aumentar a suscetibilidade das plantas cafeeiras a pragas e doenças e; alterar a adequação climáticas das regiões produtivas. Na Quênia, já foram constatadas e documentadas declínios e contextos políticos desfavoráveis para os agentes do setor cafeeiro. Estima-se que para a América do Sul, a área inapropriada seja até de 88% (SARVINA *et al.*, 2022).

As mudanças climáticas, principalmente causadas por padrões de chuva variadas e altas temperaturas, afetam diretamente a produção de café de várias maneiras: primeiramente, alteram as normalidades das regiões tradicionais de cultivo; após, impactam o solo aumenta a erosão e reduz a disponibilidade de água; e por fim, aumenta a frequência e intensifica eventos climáticos extremos – secas, inundações e ondas de calor – e as mudanças na temperatura e chuvas favorecem as pragas e doenças que atacam diretamente as plantas de café (FROMM, 2022).

A seca é uma restrição para a produção de café no Brasil. Nos últimos anos, o sistema produtivo cafeeiro tem experimentado variações climáticas como seca e distribuição irregular de chuvas, o que desencadeia déficits hídricos e a diminuição das colheitas de café (SANTOS *et al.*, 2021; JUNIOR *et al.*, 2020).

### **2.3 Remoção de Carbono**

Conforme visto nas seções anteriores, o carbono é um dos principais constituintes dos gases de efeito estufa, como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>). Foi apresentado, também, que a atividade humana tem aumentado, significativamente, a concentração de GEE na atmosfera especialmente o CO<sub>2</sub> a partir de: queima de combustíveis fósseis (como carvão, petróleo e gás natural) para energia; desmatamentos e; mudanças no uso da terra.

Para que haja um crescimento econômico de qualquer setor é preciso impactar o meio ambiente (LIMA *et al.*, 2022). Sendo assim, qualquer processo produtivo se destaca com uma dualidade problemática: vulnerabilidade setorial em relação a mudanças climáticas e

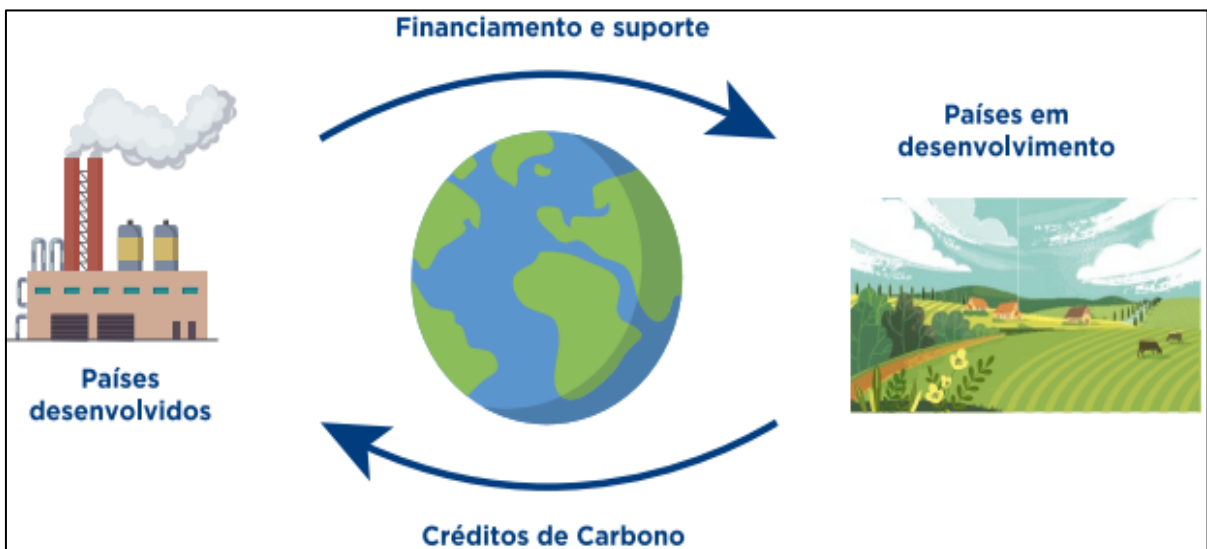
emissões de GEE geradas pelo processo produtivo. Nesse sentido, é necessário viabilizar estratégias e políticas que assegurem que o setor sobreviva e o sistema produtivo se adequem aos fatores sustentáveis. Há várias estratégias para que as emissões de GEE sejam mitigadas e o impacto no meio ambiente seja otimizado.

Começaremos a falar sobre a adicionalidade, cujo termo foi originado dentro do escopo da Convenção que é conhecida como Quadros das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (*Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC)) que forma o Protocolo de Kyoto. Essa ação, torna estável as concentrações de GEE na atmosfera, otimizando os impactos causados pelas atividades antropogênicas (MUNHOZ; VARGAS, 2022).

Um dos métodos que compõe o protocolo é o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que consiste em um sistema mercadológico de carbono que envolve todos países envolvidos no acordo, de modo que os países que estão em patamares considerados desenvolvidos financiam os países em desenvolvimento, no que diz respeito aos projetos de mitigação de GEE (MUNHOZ; VARGAS, 2022). Uma vez implementado os projetos, os países têm acesso a créditos de carbono.

Créditos de carbono é um mecanismo conhecido como Redução Certificada de Emissão (RCE), ou seja, as nações envolvidas que cumprirem suas metas de compensação de GEE receberão RCE através do sistema MDL. Logo, essa compensação funciona como estímulo para que as nações consigam atender a meta maior que é a redução dos impactos climáticos de uma forma geral (Figura 8). Sendo assim, para usar o MDL e validar que o projeto financiado gera um adicional no GEE mitigado, o protocolo exige a adicionalidade.

Figura 7 - Adicionalidade através do uso do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo



Fonte: MUNHOZ; VARGAS (2022, p. 07).

O mercado de carbono é uma estratégia satisfatória entre agentes públicos ou privados porque todas ocorrem ao mesmo tempo, resulta em uma certa competitividade aumenta a produtividade da redução de emissões. A criação do mercado pode ser por lei ou pacto. Se for de forma legalizada, o mercado recebe o nome de mercado regulado e cita como exemplo, o mercado californiano *California Global Warming Solutions Act* que foi criado em 2006, com 450 empresas do ramo de energia, indústria e distribuição envolvidas nesse projeto (VARGAS, 2022).

A “norma californiana fixa teto de emissões que serve como limite para todas as empresas reguladas. A partir daí, o estado distribui licenças de emissão às empresas” onde cada uma se empenha para mitigar emissões para ter direitos de emitir, através da compra de créditos de outras empresas nesse mercado, ou seja: a empresa que polui mais que o teto pagará capital por isso; e a empresa que polui menos que o limite delimitado, ganhará dinheiro (VARGAS, 2022).

Se for de forma voluntária que independe do comando legal a criação do mercado de carbono, a operação será chamada de troca de mercado voluntário. “É o caso da rede Marriott, que financia a preservação florestal em áreas ameaçadas do Amazonas(...), como forma de “neutralizar”, em parte, emissões de sua rede hoteleira”, seu crédito de carbono é utilizado para atender as metas corporativas da própria empresa por decisão espontânea dela mesma. (VARGAS, 2022)

Vale ressaltar, que há dois órgãos que trabalham em parcerias: O IPCC que divulga informações técnico-científicas e a UNFCCC que promove de forma periódica reuniões e eventos. Dentre eles, um dos mais importantes chamado de Conferências das Partes (Conference of Parts – COPs). Ao longo dessas décadas houve muitas divergências na diplomacia climática internacional. Diante disso, foi realizada em 2015 na França em Paris a COP21 com a finalidade de potencializar o compromisso global com as questões climáticas onde todas as nações mundiais comprometeram controlar a temperatura em 2º Celsius até 2100, utilizando como base o ano de 1900 (VARGAS, 2022).

Já na segunda década do século XXI em Glasgow, ocorre a COP26 onde a pauta discutida foram parâmetros regulamentadores do mercado de carbono entre nações, empresas e organizações sociais. Os apoiadores acreditam que o mercado de carbono sejam estímulos para o cumprimento das metas (VARGAS, 2022).

Quando se trata do agrossistema de produção, vale destacar o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação as Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC) que consiste em práticas criteriosas com o objetivo de estimular avanços sustentáveis, como: recuperar pastos degradados;

integrar lavoura, pecuária, floresta; sistemas de plantio de forma direta; plantações de florestas; tratar os dejetos animais; e fixar biologicamente o nitrogênio (LIMA *et al.*, 2022).

Um dos exemplos de aplicação das ferramentas acima citadas, foi aplicada por Assad *et al.*, (2021), que apresentou uma análise quantitativa resultante da integração das tecnologias: integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) e de recuperação de pastagens degradadas através de um modelo de projeção e mitigação para qualquer atividade pecuária de descarbonização. Essa junção potencializa a mitigação de GEEs e sistema produtivos brasileiros até o ano de 2030.

O Plano ABC+ (Plano de Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária) é uma nova adaptação do Plano ABC e planeja sua execução entre 2020 e 2030. Nesse novo plano adicionam as metas: bioinsumos; sistemas integrados; e terminação intensiva (LIMA *et al.*, 2022).

Com enfoque no Brasil, o mercado voluntário de carbono pode desenvolver as criações de acordo com suas características e identidade. No nosso País, a organização desse tipo de mercado acontece das seguintes maneiras: Mecanismo de Redução de Emissões de Desmatamento e Degradação (REDD+); Mecanismo de Financiamento Ambiental, Social e Governança (ESG); e um instrumento novíssimo público, chamado de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) (LIMA *et al.*, 2022).

De acordo com Lima *et al.* (2022), REDD+ é uma vertente criada pela UNFCCC no que tange o desenvolvimento de mitigar emissões de GEE para países em desenvolvimento. Esse instrumento está sendo questionado, porque a artigo 6 do acordo de Paris em relação ao mercado de carbono aprovou outro instrumento chamado de Mercado de Projetos (MDS) que lida com projetos direcionados para florestamento e reflorestamento, assim como o REDD+, que inclusive é mais abrangente, mas não geram créditos que possam ser vendidos para os mercados regulados, mas sim premiam os esforços dos países, frente ao cumprimento dos comprometimento com a preservação florestal, de modo que "debitam" no orçamentos.

O Projeto Pacajai REDD+ é baseado em Portel, no Pará, e tem como meta prevenir o desmatamento não planejado em uma área de 123 mil hectares de floresta amazônica nativa, para que seja reduzida a emissão de 10,5 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente ao longo de um período de 41 anos (2008-2048) por meio de iniciativas de monitoramento e fiscalização em terras privadas de conservação. O projeto inclui a capacitação da população local em monitoramento e gestão de florestas e biodiversidade, capacitando-os a atuar como fiscais na região de implementação. O projeto também visa melhorar a qualidade de vida da comunidade local, com investimentos diretos em áreas como saúde, educação, infraestrutura e fortalecimento de grupos em situação de vulnerabilidade (CARLOS *et al.*, 2022).

O problema é que para países que contém áreas florestais tão extensas como o Brasil, essa mudança de regimes impactam, visto que, o REDD+ em relação às outras poucas iniciativas, investiu consideravelmente na infraestrutura gestora da Amazônia. O autor considera que uma possível solução seria igualar os dois regimes no sentido de gerar créditos de carbono para trocas no mercado regular.

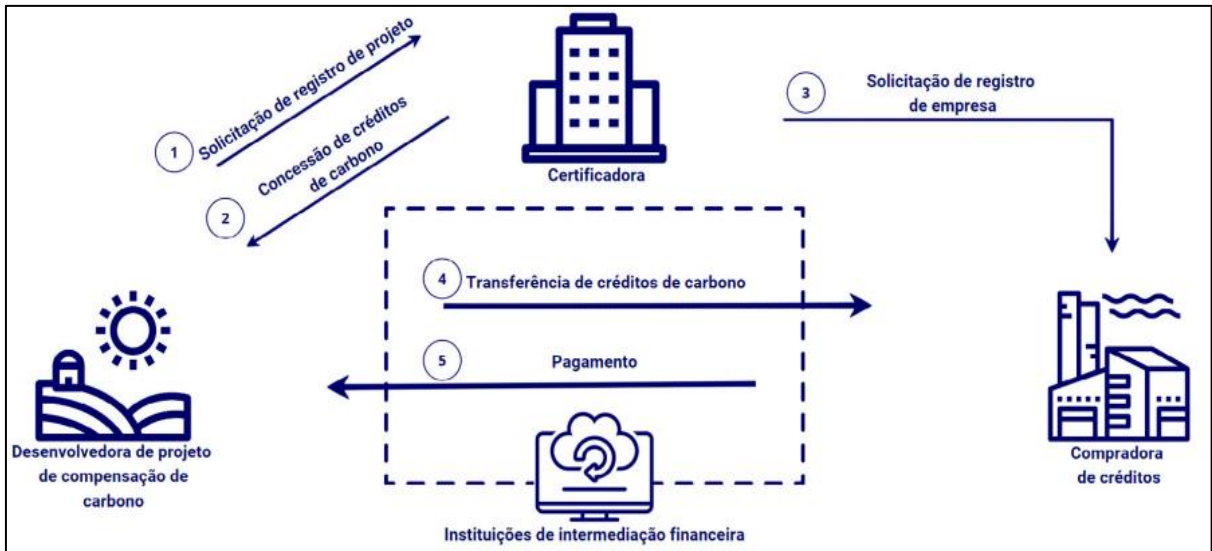
O regime ESG e PSA não são instrumentos específicos de mercado de trocas de carbono. O ESG financia empreendimentos que se comprometem com os princípios ambientais, sociais e de governança. Já o PSA (recente aprovado pela legislação do país – Lei nº 14,119, sancionada em 13 de janeiro de 2021) objetiva regular a remuneração de serviços ambientais como: atividades ocorridas de forma individual ou coletiva que subsidia a manutenção, as melhorias e as recuperações dos serviços inerentes ao ecossistema (LIMA *et al.*, 2022).

Os dois instrumentos integrados são estimuladores potencializados que alavancam o mercado voluntário de carbono. O ESG responsabiliza pelos investimentos que resultam em benefícios ambientais e o PSA responsabiliza a demanda de trabalho nas atividades dos serviços ambientais. Equacionar os dois instrumentos, o resultado é descarbonização.

A nação brasileira, recentemente, regulamentou a criação de um mercado de carbono nacional apenas com projetos inerentes ao Mercado Voluntário de Carbono (MVC) e não são atrelados à UNFCCC. Como diz respeito ao mercado voluntário para ser certificado os créditos de carbono, então os parâmetros são internacionais de forma independentes, administrados por órgãos privados e/ou de terceiro setor, de modo que os projetos não percam credibilidade (CARLOS *et al.*, 2022).

Dentre os principais órgãos estão: Verra e Gold Standard (GS). São organizações sem fins lucrativos, que certificam os créditos de carbono mediante atividades sustentáveis: a GS certifica atividades energéticas eficientes. Já o Verra, engloba também as atividades agropecuárias e o manejo do solo. O retorno financeiro resultante do MVC (Figura 9) financiaria a recuperação de áreas degradadas assim como outras demandas. O sequestro de carbono gera créditos de carbono que seriam negociados no mercado voluntário (CARLOS *et al.*, 2022).

Figura 8 - Retorno financeiro resultantes do Mercado Voluntário de Carbono



Fonte: CARLOS *et al.* (2022, p. 14).

Os reservatórios naturais que são sumidouros ou depósitos de CO<sub>2</sub> – florestas, oceanos, solos, rochas, entre outros – que retiram o excesso desse elemento na atmosfera. A deterioração desses sequestradores naturais, ocorrem através de queimadas, desmatamentos, alterações no solo entre outros, prejudicando o sequestro de CO<sub>2</sub> e aumentando sua concentração no planeta (ZAPPAROLI, 2012).

A remoção de carbono é um processo que contribui para as estratégias de redução de gases de efeito estufa. Um exemplo é a recuperação de pastagens degradadas que ao revitalizá-las, é possível aumentar o estoque de carbono no solo, impedir a emissão de CO<sub>2</sub>. A transição para um manejo de alta qualidade transforma as pastagens em sumidouros de CO<sub>2</sub> (CARLOS *et al.*, 2022).

Os agrossistemas de produção emitem de forma direta 14% de dióxido de carbono na atmosfera em cada ano em relação aos diversos sistemas produtivos e propõe uma forma de reduzir essa emissão implantando Sistemas Agroflorestais (SAFs) cuja aplicação tem potenciais significativos para sequestro de carbono (C) e nitrogênio (N) (CANDIDO *et al.*, 2017).

O café conilon tem sua plantação bem-sucedida em todo o estado do Espírito Santo e é um potencial para implementação em SAFs. Pupunha e banana que são capazes de associarem-se simbioticamente através de Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA). Essa associação maximiza a absorção de nutrientes e águas contribuindo com o aumento da capacidade de estocar C e N no solo, por conta da produção da glomalina fúngica, ou seja, uma glicoproteína bem recalcitrante no solo como teores significativos de C e N, graças as propriedades dos FMAs (CANDIDO *et al.*, 2017).

Os SAFs que combinam café conilon com banana e pupunha não aumentou os estoques de carbono (C) e nitrogênio (N) no solo em comparação com o cultivo de café a céu aberto e floresta nativa. Isso se deve ao fato de que esses sistemas ainda são novos em termos de adoção. No entanto, é importante notar que os SAFs podem estar favorecendo uma maior reciclagem de nutrientes na camada superficial do solo, especialmente para os agricultores familiares que seguem princípios agroecológicos e têm limitado acesso a insumos externos para suas áreas de cultivo (CANDIDO *et al.*, 2017).

## 2.4 Métodos de quantificação de GEE

A atmosfera da Terra é um recurso natural essencial, mas as atividades humanas têm um impacto na qualidade desse ambiente. Por meio de ações antrópicas, gases prejudiciais são liberados na atmosfera, onde se acumulam na camada atmosférica. Isso cria uma barreira que interfere no processo natural de dissipação do calor proveniente dos raios solares para o espaço, o que, por sua vez, desencadeia mudanças climáticas de escala global. Compreender e abordar essa questão é necessário, pois as mudanças climáticas têm implicações profundas para o planeta e para a qualidade de vida das futuras gerações.

O Quadro 2 oferece uma visão concisa dos marcos que ao longo dos anos têm pautado a discussão dessa problemática, destaca evolução das ações e decisões tomadas em busca de soluções diversas. Desde os primeiros debates sobre a questão, a humanidade tem testemunhado uma série de eventos cruciais que influenciaram a abordagem das mudanças climáticas, e essas informações resumidas fornecem uma perspectiva clara da trajetória que levou a várias possibilidades de resolução. A compreensão desses marcos históricos é fundamental para orientar ações futuras e colaborar na busca de soluções eficazes para os desafios relacionados às mudanças climáticas.

Quadro 2 - Marcos importantes nas ações para a redução de Gases de Efeito Estufa

ANO	ATIVIDADE	REFERÊNCIA
1950	Inicia a discussão sobre as mudanças climáticas e os impactos gerais.	Pinho (2019)
1992	ECO-92 (Cúpula da Terra) Conferência sobre o clima (Rio de Janeiro) e a aprovação da UNFCCC (Nova Iorque)	Brasil (2018)
1997	Inicia o Protocolo de Kyoto, que foi implementado em 2005 e expirou em 2012. Segunda fase inicia em 2013 e expira em 2020.	Andrade e Costa (2008)

2015	São definidos os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e assinado um tratado mundial, chamado de Paris e a COP 21.	Soares (2022)
2021	COP26 onde a pauta discutida são parâmetros regulamentadores do mercado de carbono entre nações, empresas e organizações sociais.	Vargas (2022)
2023		

Fonte: Autor (2023).

Brasil (2018), conceitua COP como órgão supremo da UNFCCC que de forma anual reúne as nações envolvidas na conferência mundial, cujo objetivo geral é verificar a eficiência de forma regular das tomadas de decisões, assim como as implementações de quaisquer tecnologia jurídica oriunda da COP. A sede da Convenção possui um secretariado com uma sede em Bonn, na Alemanha, onde ficam disponíveis todas as informações inerentes às práticas, ações e tomadas de decisões da instituição.

As COPs têm objetivos específicos que incluem uma avaliação anual dos mecanismos desenvolvidos na Convenção e das obrigações estabelecidas. Além disso, elas desempenham um papel fundamental na promoção e facilitação do entendimento das informações relacionadas às mudanças climáticas e seus impactos, busca torná-las acessíveis em todos os idiomas para que todas as nações possam adotar ferramentas eficazes no enfrentamento desses desafios (BRASIL, 2018).

Vale ressaltar, que as COPs têm como meta orientar a evolução e a eficiência dos métodos de comparação definidos por elas, contribui para a elaboração de inventários de GEE por fontes e de remoções por sumidouros. Além disso, essas conferências realizam avaliações regulares e adotam atas para o planejamento da implementação das medidas resultantes da Convenção, contribui assim para a consecução de seus objetivos (BRASIL, 2018).

O Brasil teve a distinção de ser selecionado como anfitrião da COP8, uma conferência programada para ser realizada no primeiro semestre de 2006. Sua proposta foi recebida com aprovação, e essa escolha ressaltou a confiança no Brasil como país anfitrião, demonstrando seu compromisso e potencial para liderar discussões cruciais sobre as mudanças climáticas em nível internacional (BRASIL, 2004).

A proposta de sediar a COP8 foi apresentada durante o evento realizado em Kuala Lumpur, na Malásia, e conquistou a aprovação, marcou na trajetória do Brasil no cenário internacional das mudanças climáticas, consolidando-se como um protagonista na discussão das questões climáticas em escala mundial. (BRASIL, 2004).

O Brasil, até o momento, não sediou nenhuma COP. O Quadro 3 apresenta uma visão geral desses marcos, indicando os locais e os anos em que as COPs foram realizadas. Essa análise destaca a relevância dessas sedes e as múltiplas localidades que têm desempenhado um papel no palco internacional das discussões climáticas (BRASIL, 2018).

Quadro 3 - Marcos da Sede das Confederação das Partes

<b>COP</b>	<b>LOCAL</b>	<b>ANO</b>
1	Berlim – Alemanha	1995
2	Genebra – Suíça	1996
3	Quito – Japão	1997
4	Buenos Aires – Argentina	1998
5	Bonn – Alemanha	1999
6 – 1	The Hague – Holanda	2000
6 – 2	Bonn – Alemanha	2001
7	Marraxexe – Marrocos	2001
8	Nova Déli – Índia	2002
9	Milão – Itália	2003
10	Buenos Aires – Argentina	2004
11	Montreal – Canadá	2005
12	Nairóbi – Quênia	2006
13	Bali – Indonésia	2007
14	Poznan – Polônia	2008
15	Copenhague – Dinamarca	2009
16	Cancún – México	2010
17	Durban – África do Sul	2011
18	Doha – Catar	2012
19	Varsóvia – Polônia	2013
20	Lima – Peru	2014
21	Paris – França	2015
22	Marraxexe – Marrocos	2016
23	Boonn – Alemanha	2017
24	Katowice – Polônia	2013
25	Madri – Espanha	2019
26	Glasgow – Reino Unido	2021
27	Sharm El Sheikh - Egito	2022
28	Dubai – Emirados Árabes Unidos	2023

Fonte: Adaptado de BRASIL (2018).

Observa-se no Quadro 3, que há uma folga entre 2019 à 2021, a não ocorrência da vigésima sexta Conferência das Partes em detrimento do Coronavírus (Covid-19). A COP26 foi prorrogada para o intervalo de 1 a 12 de novembro em Glasgow no Reino Unido. Vale salientar, que dentre essas COPs algumas são mais marcadas no histórico evolutivo. Dentre elas estão a COP3, a COP21 e COP26.

A COP3 ocorrida em 1997 em Kyoto no Japão, cuja meta era limitar e reduzir GEE principalmente para países desenvolvidos por emitir mais que os em desenvolvimento.

Dezoito anos depois, o protocolo de Kyoto é substituído pelo Acordo de Paris com a COP21 cuja meta é o trabalho integral internacional de cooperação com o objetivo de impedir acréscimos na temperatura média terrestre acima de dois graus na escala Celsius em comparação às níveis pré-industriais (Quadro 3). São vários aspectos que tornam o evento importante, nessa COP o que torna mais completo esse marco é a reunião de todas as nações em uma causa comum para desenvolver esforços bem articulados para combater as mudanças climáticas.

A COP26 estava sendo esperada por conta de uma ação muito esperada que era a criação do mercado global de carbono (VARGAS, 2022). A regulamentação do mercado de carbono nessa COP. As compras de “autorizações” de emissão de carbono serão regulamentadas para que as metas sejam alcançadas de forma produtiva e a comercialização dos países envolvidos não serão taxadas, logo, as negociações de créditos entre setores privados ou de organizações não governamentais resultarão em uma cobrança de 5% que serão encaminhadas para financiamentos das nações mais necessitadas implementar os métodos de adaptações inerentes as mudanças climáticas (ONU, 2022).

Nas próximas seções, serão abordadas de forma detalhada, os instrumentos de quantificação de gases e os detalhes resultantes da: discussão, estratégia e criação advindas das COPs e marcos com o fito de redução de gases de efeito estufa.

#### *2.4.1 Inventário de emissões de GEE*

O inventário de emissão de GEE é uma ferramenta sistêmica que assegura a representação de forma justa e transparente todas emissões de GEE de uma organização, na qual, atende uma gama de características como pilar desse instrumento, como (MONZONI, 2008):

- Relevância: assegurar que o inventário atenda as necessidades dos interessados, seja internos ou externos à empresa com informações exatas;

- Integralidade: auxilie a comunicação e os registros de todas operações e fontes que emitem GEE de acordo com os limites selecionados para elaboração do inventário, não esquecendo de contabilizar nenhum dado de forma eficiente;

- Consistência: assegurar que as informações sejam consistentes a longo prazo, para que os usuários consigam ter o acompanhamento sem nenhum problema e possa comparar as informações no que diz respeito às emissões de GEE, além de traçar tendências, assim como avaliar o desenvolvimento daquela organização;

- Transparência: é necessário que as informações inerentes aos métodos, pressupostos e delimitações do inventário de GEE sejam claras, imparciais, verdadeiras e bem documentadas, sendo passível de auditorias;

- Exatidão: Assegurar que os dados sejam precisos e exatos para que os usuários sintam confiança e credibilidade nas informações.

Mensurar e controlar emissões de GEE, são estratégias fundamentais para práticas sustentáveis e podem ocorrer de duas formas: contabilizações obrigatórias, onde são aplicadas aos países altamente industrializados como as empresas europeias através de leis; e contabilizações voluntárias, estimuladas pela gestão de riscos adotadas por empresas que tem potencial em exposição da marca. Geralmente, essa modalidade é subsidiada por diferentes normas e diretrizes como GHG Protocol, ISO 14064, entre outras de acordo com o âmbito operacional de cada empresa. (PINHO, 2019)

A empresa de café nesta dissertação, se encaixa no aspecto de contabilização voluntária, com o objetivo de conhecer suas emissões de GEE concatenadas ao seu sistema produtivo e com esses dados elaborar medidas, meios e estratégias que se adeque aos requisitos sustentáveis, como redução dessas emissões de GEE.

Júnior (2020), destaca sobre os benefícios econômicos que a redução de GEE traz para uma empresa:

- Otimização de custos através do implemento de medidas energéticas eficientes e viabilização do uso de energias renováveis;

- Redução de custos em virtude dos patrocínios governamentais como incentivos;

- Dimensionamento da capacidade de desenvolvimento e/ou preservação com produtos sustentáveis aplicados no mercado;

- Fidelização de clientes comprometidos com as questões sociais;

- Vender créditos no mercado de carbono;

- Prevenção contra multas, inerentes às emissões de GEE ou precisar de comprar créditos no mercado de carbono.

Sobre a metodologia para os inventários de GEE, existem variados métodos. Nessa dissertação, foi destacadas as principais ferramentas a partir de referências, que são elas:

*Greenhouse Gas (GHG) Protocol, ISO-4064 - Parte 1 e Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).*

#### 2.4.1.1 Método GHG Protocol

O *GHG Protocol* teve sua origem nos Estados Unidos no final da década de 1990, sob a coordenação do *World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)* e do *World Resources Institute (WRI)*. Seu principal objetivo era desenvolver padrões e inventários que possibilitem a divulgação clara de informações organizacionais relacionadas às emissões de GEE. No Brasil, a plataforma nacional do *GHG Protocol* é gerenciada em conjunto pelo Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas (FGV), o WRI, o Ministério do Meio Ambiente (MMA), o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS) e o WBCSD (MELO; SINFRÔNIO, 2018).

O Programa Brasileiro *GHG Protocol (PBGHG Protocol)* foi fundada em 2008 e responsabiliza as retificações do Método *GHG Protocol* de acordo com o contexto do Brasil, além de desenvolver ferramentas para que as emissões de GEE sejam mensuradas (FGV, 2022). A metodologia da FGV para elaboração dos inventários são fundamentadas no Guia de Orientações do IPCC e seguem três escopos (JUNIOR *et al.*, 2021):

Escopo 1: Diz respeito às emissões diretas inerentes ao processo produtivo de uma indústria que pode controlar as fontes existentes;

Escopo 2: Emissões não diretas de GEE pelo consumo da eletricidade; e

Escopo 3: Fontes indiretas atreladas à operação da indústria que não tem autonomia de controle.

Conforme mencionado na introdução desta dissertação, o comércio agroindustrial está em crescimento, e demanda a criação de diretrizes técnicas. Nesse contexto, em 2012, o WRI deu início ao Projeto *GHG Protocol Agrícola* com o objetivo de desenvolver ferramentas para facilitar o cálculo das emissões agrícolas e aprimorar a legislação brasileira nesse setor. Como resultado desse projeto, foram criadas duas importantes ferramentas: as Diretrizes Agrícolas Brasileiras (DAB) e a Ferramenta de Cálculo (WRI, 2015).

As DAB foram desenvolvidas em um processo colaborativo envolvendo várias organizações e especialistas do setor. Elas representam um protocolo para calcular as emissões decorrentes da atividade agrícola. Esse protocolo estabelece uma estrutura padronizada para identificar e definir as fontes de emissões que devem ser incluídas no inventário de GEE de empresas do setor agrícola ou de propriedades rurais. Além disso, as DAB estabelecem diretrizes para o relatório dos dados de emissões desses inventários (WRI, 2015).

A origem da ferramenta de cálculo como resultante das parcerias entre: WRI, Embrapa e Unicamp (Universidade Estadual de Campinas) que trabalham com todos os aspectos mostrado por Monzoni (2008): relevância, integralidade, consistência, transparência e exatidão. Estes recursos tecnológicos permitem que todos produtores do sistema produtivos “agricultura, pecuária, silvicultura, entre outras, incluir o reporte e a mitigação de emissões de GEE, em suas estratégias de produção e planejamento anual” (WRIBRASIL, 2015).

WRIBRASIL (2015), informa que o público-alvo da ferramenta de cálculo é o produtor que buscará alocar emissões e remoções de GEE, leva em consideração as áreas específicas. Essa ferramenta assume um papel crucial no contexto atual, em que a mitigação das mudanças climáticas é uma prioridade global. Ao permitir que os produtores realizem uma análise precisa das fontes em suas operações, a ferramenta oferece uma oportunidade para a gestão sustentável e a redução do impacto ambiental.

Essa abordagem direcionada não apenas fortalece a responsabilidade ambiental dos produtores, mas também facilita a tomada de decisões informadas e estratégicas para a redução das emissões de GEE. Além disso, ao considerar áreas específicas destacadas no Quadro 4, a ferramenta proporciona uma visão detalhada das fontes de emissões e das oportunidades de mitigação, permite uma abordagem mais precisa e eficaz na gestão ambiental das operações agrícolas..

Quadro 4 - Áreas para mensuração

Adubação orgânica
Aplicação de calcário e gesso
Aplicação de fertilizantes nitrogenado sintético
Aplicação de ureia
Consumo de energia elétrica
Cultivo de arroz
Dejetos de animais em pastagens
Fermentação entérica
Fontes secundárias (deposição atmosférica e lixiviação ou escoamento superficial)
Manejos em dejetos
Manejos de dejetos de animais (exceto animais em pastagens)
Mudança de uso do solo
Operações mecanizadas
Queima de resíduos vegetais
Resíduos da cultura

Fonte: Adaptado de WRIBRASIL (2015).

Nesse trabalho serão alocados: adubação orgânica, aplicação de calcário e gesso; aplicação de fertilizantes nitrogenados sintéticos; aplicação de uréia e; consumo de energia elétrica.

#### 2.4.1.2 ISO 14064 (Parte 1)

Para que haja gestão e controle é preciso que normas técnicas e diretrizes sejam estabelecidas e executadas. Para o controle da emissão ou remoção de gases de GEE também são necessárias seguir parâmetros para uma ação efetiva e eficaz. No Brasil, essas normas e diretrizes são elaboradas em Comissões de Estudos (CE) a partir de consumidores, produtores e neutros (laboratórios, universidades, institutos, entre outros).

O Foro Nacional de Normalização, que é o local onde são discutidos, debatidos e parametrizados as normas e diretrizes recebe o nome de Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) que ficam sob responsabilidade das Comissões de Estudo Especiais Temporárias (ABNT/CEET).

A ABNT NBR 14064-1 é produto do Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental (ABNT/CB-38) formada pela Comissão de Estudos de Mudanças Climáticas (CE-38:009.01) e que foi fundamentada a partir da ISO 14064-1:2006 criada pelo Comitê Técnico *Environmental Managment* (ISO/TC 207), de acordo com a ISO Guide 21-1:2005.

Com o título geral de Gases de Efeito Estufa, A ABNT 14064 são divididas em três partes:

- Parte 1: Orientam os usuários a quantificar e elaborar relatórios de emissões e remoções de GEE;
- Parte 2: Orientam os usuários a quantificar e elaborar projetos de emissões e remoções de GEE;
- Parte 3: Orientam e norteiam validações e verificações sobre declarações inerentes à GEE. Aplicável a organizações de certificações.

Explora-se melhor a ABNT NBR ISO 14064-1 que tem como objetivo detalhar princípios e requisitos para que haja planejamento, desenvolvimento, gerenciamento e relatórios de inventários de GEE nas organizações com qualidade, assim como assegurar que os limites de fontes de emissão de GEE seja criado de forma responsável, mediante as exigências para que o gerenciamento de GEE ocorra de forma produtiva, abrangendo requisitos e orientações na elaboração de relatos, auditorias internas e verificação responsável das organizações na verificação das atividades.

Além disso, a implementação da ABNT NBR ISO 14064 promove a transparência e a prestação de contas ambientais, fortalecendo a credibilidade das organizações perante os

*stakeholders*. Ademais, contribui para a disseminação de boas práticas e a melhoria contínua no gerenciamento de emissões de GEE, fomentando a inovação e a sustentabilidade em diversas áreas da atividade humana.

De maneira mais específica:

- Integrar de forma satisfatória a quantificação de GEE e o meio ambiente;
- Assegurar que haja clareza para que a quantificação, monitoria e elaboração de relatórios de GEE sejam credibilizadas, consistentes e transparentes para que as emissões e remissões de projetos de GEE seja melhorados;
- Assegurar que o desenvolvimento e a implementação da gestão estratégica e de planos de GEE de uma empresa, seja facilitada;
- Viabilizar o desenvolver e o implementar projetos de GEE;
- Tornar fácil a a capacidade de acompanhamento do desempenho e avanços na redução e/ou aumento de GEE;
- Viabilizar a concessão e negociação relacionados aos créditos oriundos das reduções de emissão ou melhorias nas remoções de GEE.

#### 2.4.1.3 Intergovernmental Painel on Climate Change (IPCC)

O Painel Intergovernamental para a Mudança de Clima (IPCC) foi criada em 1988 pela Organização Meteorológica Mundial (*World Meteorological Organization*), WMO e Nações Unidas para o Meio Ambiente (*United Nations Environment Programme*), UNEP com o objetivo fornecer avaliações e informações técnico-científicas sobre mudanças climáticas, impactos e possíveis riscos que compromete o clima do planeta, assim como, propõe adaptações para mitigação de GEE (IPCC, 2023).

Segundo Pinho (2019), O mecanismo de trabalho da IPCC é um processo complexo e altamente rigoroso que se baseia na colaboração de três grupos distintos de especialistas compostos por cientistas renomados e especializados em diferentes áreas relacionadas às mudanças climáticas, trabalham em estreita colaboração para coletar, compilar e analisar dados provenientes de uma variedade de fontes confiáveis.

O processo meticuloso do IPCC garante um relatório final preciso e abrangente sobre as mudanças climáticas. O Quadro 5 estabelece diretrizes que garantem consistência e objetividade. Essa abordagem rigorosa é essencial para a credibilidade e relevância dos relatórios do IPCC, amplamente utilizados globalmente.

Quadro 5 - Grupos do IPCC e suas demandas

GRUPOS	DESCRIÇÃO
--------	-----------

1	Monitora as características e propriedades de cada elemento pertencente ao sistema climático; desenvolve estudos paleoclimáticos e mecanismos biogeoquímicos; analisa projeções de modelo climáticos e suas aplicações e; avalia das mudanças climáticas características físicas e científicas.
2	Avalia as vertentes socioeconômicas e naturais inerentes à mudanças climáticas e; Aborda os impactos positivos e negativos das mudanças climáticas e apresentam propostas de adaptação.
3	Desenvolve a pauta sobre a mitigação do aquecimento global e apresenta propostas de atividades e tecnologias para redução das emissões de GEE e sequestro de carbono da atmosfera e; apresenta projeções de custo e benefícios das propostas significativas, assim como, instrumentos, mensurações e diretrizes disponíveis baseados em diferentes setores da economia: agricultura, energia, transporte, entre outros.

Fonte: Adaptado de PINHO (2019).

Assim sendo, o IPCC assume uma importância crucial no estudo das mudanças climáticas, entre outros aspectos relevantes.

#### 2.4.1.4 Órgãos de certificações e auditorias na produção de café

Como vimos nas seções anteriores, a indústria brasileira cafeeira é conhecida mundialmente por produzir grãos de alta qualidade em várias regiões, desde o final do século XIX. Para garantir a credibilidade e consistência dessa boa produtividade, foi implementado um sistema de selo de qualidade, ao longo, do período histórico da produção desse produto no país.

Esses selos servem como identificadores que indicam a adesão de produtores de café a padrões e diretrizes específicas estabelecidas por associações do setor, órgão regulatórios e programas de certificação. Vale destacar que esses selos atuam como um método de aprovação que garante aos clientes e consumidores que o produto comprado atende a determinados critérios de qualidade (NITTHIKAN *et al.*, 2018).

Uma das principais razões para a aplicação de selos de qualidade ao café brasileiro é competir com outros cafés no mercado global. Diante do crescente foco nos processos de produção e na qualidade do produto, tornou-se imperativo para os produtores cafeeiros do Brasil, melhorar continuamente a qualidade de seus grãos (CARVALHO *et al.*, 2014).

Essa melhoria na qualidade pode ser alcançada por meio de diversos meios, como: intensificação agrícola e mecanização; técnicas de processamento pós-colheita; diversificação do produto e; uso de microorganismos benéficos durante o cultivo. Ao

implementar essas medidas, os produtores de café brasileiros visam melhorar a sustentabilidade, qualidade e produtividade de suas safras. Dessa forma, a aplicação dos selos de qualidade também serve para melhorar a reputação geral e a imagem do café brasileiro nos mercados nacional e internacional (CARVALHO et al., 2014).

Em relação à sustentabilidade, a partir de 2007 a ABIC criou o Programa Cafés Sustentáveis do Brasil (PCS), com o objetivo de introduzir o mercado nacional dentro da tendência mundial com a proposta de consumo consciente, isto é, produção respeitando-se as práticas sustentáveis, econômica, social e ambiental (ABIC, 2023).

A auditoria do processo de industrialização ocorre em conformidade com as melhores práticas estabelecidas para cada etapa da produção. Esse processo meticuloso garante que os produtos sejam separados de acordo com sua qualidade, seguindo metodologias embasadas em análise sensorial, divididas em quatro categorias distintas: Extraforte, Tradicional, Superior e Gourmet.

Cada categoria é cuidadosamente avaliada para garantir que atenda aos mais altos padrões de qualidade. Aqueles produtos que passam por essa rigorosa avaliação e são aprovados recebem o cobiçado selo de qualidade, como mostrados na Figura 10, que não apenas valida sua excelência, mas também inspira confiança nos consumidores. Esse processo de certificação não apenas garante a consistência e a excelência dos produtos, mas também fortalece a reputação da marca no mercado, destacando-se como um símbolo de comprometimento com a qualidade e a satisfação do cliente (ABIC, 2023).

Figura 9 - Selos de qualidade sustentável da ABIC



Fonte: ABIC (2023, p. 01).

Além disso, o produtor de café segue leis trabalhistas, cumpre as rigorosas obrigações legais, como o pagamento do Fundo de Garantia, contribuições para a Seguridade Social e outros benefícios sociais estabelecidos pela Consolidação das Leis do Trabalho (CLT).

Medidas como o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) no manuseio de agrotóxicos e a disponibilização de instalações adequadas para o alojamento e alimentação dos trabalhadores estão amplamente adotadas no setor agrícola (CECAFE, 2023). As produtoras são fiscalizadas para cumprir o código de conduta, respeita leis brasileiras e compromissos éticos, como proteção ambiental e manejo sustentável da água. As que atendem esses critérios recebem o selo de qualidade (Figura 11).

Figura 10 - Selo Cecafé de qualidade



Fonte: CECAFE (2023, p. 01).

Diversas certificações desempenham um papel fundamental no setor de café, destacando o compromisso com a qualidade, sustentabilidade e responsabilidade social. Algumas das certificações notáveis incluem o 4C (Código Comum da Comunidade Cafeeira), BSCA (Brazil Specialty Coffee Association), Café do Cerrado, Certifica Minas Café, *Fair Trade*, Rainforest Alliance, Utz Kapeh, Atsource (Olam), Cooperativa Regional dos Cafeicultores em Guaxupé Ltda – Cooxupé, Exportadora de Café Guaxupé Ltda, Empresa Interagrícola S. A., ED&F Man Volcafé Brasil Ltda, Bourbon Specialty Coffees S/A, NGK Verified (NGK Stockler Ltda.), Louis Dreyfus Company Brasil – LDC, e Sucafina Brasil Comércio e Exportação Ltda (ABIC,2023).

Essas certificações não apenas garantem a qualidade e a procedência responsável do café, mas também representam um compromisso abrangente com a sustentabilidade em toda a cadeia de produção. Ao optarem por produtos certificados, os consumidores têm a segurança que contribuem para práticas ambientais e sociais responsáveis, além de apoiarem comunidades produtoras em seu desenvolvimento sustentável. Além disso, essas certificações desempenham um papel crucial na promoção de uma indústria cafeeira mais ética e sustentável, e incentivam a adoção de boas práticas agrícolas, a proteção dos ecossistemas naturais e o respeito aos direitos dos trabalhadores rurais. Ao destacar e premiar os esforços dos produtores que se comprometem com esses padrões elevados, as certificações também estimulam uma competição saudável que beneficia tanto o meio ambiente quanto os produtores e consumidores. (ABIC, 2023).

O Quadro 6, mostra as certificações que ocorrem apenas para a produção orgânica, ou seja, os produtos são cultivados sem o uso de pesticidas ou produtos químicos sintéticos.

Quadro 6 - Órgãos que certificam café em culturas orgânicas

ÓRGÃOS	FONTE
IBD certificações	ORGANIS, 2023
Ecocert Brasil	ADRAPLAN, 2023
IMO Control	IMOCNTRONL, 2023
BCS Öko-Garantie	CI, 2023
OCIA International	OCIAINTERNATIONAL, 2023
USDA Organic	USDAORGANIC, 2023

Fonte: Autor (2023).

A partir da Federação Internacional de Comércio Alternativo, surge o Comércio Justo (*fair trade*) que busca uma boa parceria equitativa no comércio internacional, com o objetivo de fomentar o desenvolvimento sustentável. Dessa forma, o *Fair Trade* garante preços justos e condições de trabalho adequadas para os produtores de café (SEBRAE, 2023).

A Nespresso® tem uma parceria com o *Fair Trade*, uma organização que busca capacitar os produtores de café para enfrentar desafios climáticos e de mercado. Isso é feito através do fortalecimento institucional, colaboração, comércio justo e parcerias. Essa resiliência se estende aos relacionamentos, envolve o compartilhamento justo de responsabilidades e riscos, preços e contratos transparentes, além do acesso a financiamento. Para alcançar esse objetivo, é fundamental que os parceiros comerciais compartilhem a mesma visão e estejam dispostos a estabelecer relacionamentos mutuamente benéficos com as fazendas de café. (NESPRESSO, 2023).

Nesse sentido, o programa foi criado, através da parceria de produtores nacionais e internacionais de café e teve como base os critérios da ONG *Sustainable Agriculture Network* (SAN) que é conhecida mundialmente por práticas ambientais e sociais (NESPRESSO, 2023).

## 2.5 GHG Protocol Agrícola

Como foi mostrado na seção anterior, para criação GHG Protocol Agrícola são usadas duas ferramentas essenciais: DAB e Ferramenta de Cálculo. Para reportar as emissões das atividades em questão, são definidas os escopos que são divididas em três modalidades, cada uma com categorias diferentes. A definição dos escopos são categorizadas mediante o grau de controle responsável da organização que cria inventários inerentes às fontes de emissões

que podem ser diretas (a qual pertence ou são controladas pela organização) e indiretas (não pertencem ou são controladas pela organização que cria o inventário).

O Escopo 1 é obrigatório conforme as DAB e inclui categorias de fontes de emissão diretas, divididas em mecânicas e não mecânicas. Fontes mecânicas emitem gases de efeito estufa devido à combustão de combustíveis ou eletricidade, como equipamentos de colheita e caminhões de transporte. Por outro lado, fontes não mecânicas emitem gases de efeito estufa por processos bioquímicos, como a fermentação entérica do gado e a calagem do solo. Mudanças no uso do solo resultam em emissões não renováveis devido à substituição permanente de um reservatório de carbono antigo por um menor e não autoregenerativo (WRIBRASIL, 2015).

Nas categorias do Escopo 2, são incluídas nas emissões de GEE a geração de energias oriundas da eletricidade e térmica que são compradas pela organização, o que se caracteriza em emissões indiretas e que também é de natureza obrigatória de acordo com as DAB. Já o Escopo 3, não é obrigatório nas diretrizes das DAB, trata-se de emissões indiretas que não foram relatadas no Escopo 3. As categorias desse escopo é resultante das atividades da organização, porém ocorre em fontes não pertencentes ou sem controle da empresa (WRIBRASIL, 2015).

No contexto da categoria que aborda as emissões e remoções relacionadas à manejo do solo, as atividades da empresa têm o potencial de emitir ou remover carbono da atmosfera. No caso das remoções, ocorre o acúmulo de carbono devido a alterações na área do solo. Isso pode ocorrer, por exemplo, quando áreas degradadas são recuperadas para fins agrícolas, quando melhorias são feitas em pastagens ou quando ocorre uma mudança no manejo, como a transição do sistema convencional de plantio para o plantio direto (WRIBRASIL, 2015).

As emissões e remoções pela utilização da terra são auxiliadas pela recomendação da *Good Practice Guidance* 2003. Vale salientar, que mesmo sem atividades antrópicas há ganho ou perdas de carbono, como crescimentos de vegetações secundárias ou primárias em áreas de manejos. As recomendações são feitas através de valores estimados considerando todos os detalhes citados, assim como, todos os reservatórios de carbono: biomassa viva acima e abaixo do solo (raízes); serrapilheira ou folhagens e galhos mortos; madeira morta, no chão ou em pé; e carbono de solo (BRASIL, 2016).

As grandezas físicas do setor de uso da terra, mudança do uso da terra e florestas são oriundas da adição de calcário agrícola nos solos. O gás que predomina nesse setor é o CO<sub>2</sub>, além de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, pelas queimadas de madeiras deixadas nos campos, assim como, na conversão de florestas para outras utilidades. Nos açudes, barragens hidrelétricas ou outras atividades dessa natureza, também ocorre emissão de CH<sub>4</sub>. Esse elemento e o N<sub>2</sub>O não são

tão importantes para serem colocadas nos inventários por não estar inclusos nas metodologias do IPCC, dificultando o cálculo, por virtude da identificação das parcelas antrópicas dessas emissões (BRASIL, 2016).

No caso de emissão de carbono relativas às mudanças no solo, acontece por exemplo na alteração de sistema de plantio direto para áreas degradadas. A alteração de pastagem bem manejadas para pastagem degradadas também emitem carbono, por exemplo. Essas emissões e remoções de carbono inerentes ao uso do solo são biogênicas no que diz respeito as diretrizes do GHG *Protocol* que no GHG *Protocol* Agrícola, são tratadas separadamente por ser um fator significativo no tratamento final de GEE, além de ser obrigatório sua quantificação segundo a DAB (BRASIL, 2016).

Quando se faz a adição das Emissões de Escopo 1 e 2 (EE12) e Emissões de Carbono Biogênico (ECB) e Emissão de uso e Ocupação do Solo (EOS) e faz a diferença com a adição das Remoções de Carbono Biogênico (RCB) e Remoção de Uso e Ocupação do Solo (RUOS), isso resulta no indicativo de eficiência das Emissões Líquidas (EL), demonstrada na equação (1).

$$EL = [(EE12 + ECB) - (RCB + RUOS)] \quad (1)$$

Os relatórios de emissões relacionadas ao Escopo 3, de acordo com as DAB, não são considerados obrigatórios. Como resultado, foi tomada a decisão de não incluir essas emissões no inventário. Além disso, vale ressaltar que, nas atividades agrícolas, outros gases que compõem o efeito estufa, como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx) e outros compostos orgânicos voláteis não metálicos (NMVOC), também não necessitam de relatório obrigatório. Essa abordagem se alinha com as diretrizes e regulamentações em vigor, permite uma gestão eficiente das emissões relacionadas à agricultura e facilitando o cumprimento das obrigações de relato (WRIBRASIL, 2015).

Um dos principais objetivos dos inventários de emissões de GEE no Brasil é garantir que esses dados possam ser comparados de maneira consistente e confiável. Essa comparabilidade é essencial para a realização de análises, ações e tomadas de decisão informadas no âmbito das mudanças climáticas. Para facilitar essa comparação e assegurar a qualidade dos dados, o IPCC desenvolveu diversas metodologias. Uma abordagem fundamental nesse contexto é o conceito dos *Tiers*, que representa diferentes níveis ou camadas de informações e métodos para a quantificação e relato de emissões de GEE. Essa estrutura oferece uma base sólida para a avaliação e análise de emissões, contribui para a construção de um entendimento abrangente da pegada de carbono do Brasil e apoia ações eficazes na redução das emissões de GEE (IPCC, 2023).

Um *Tier* denota o nível complexo metodológico que é adotado para criar um inventário de um local e pode ser classificado em três característica metodológicas como mostra a Tabela 3 (WRIBRASIL, 2015).

Tabela 3 - Classificação e descrição dos Tiers.

NÍVEL	CARACTERÍSTICA METODOLÓGICA	DESCRIÇÃO
1	Básico	Não há fatores de emissão específico para a nação disponíveis e os dados de atividades limitados.
2	Intermediário	Há disponibilidade de fatores de emissão específicos e dados detalhados para as atividades locais.
3	Complexo	Desenvolvidos especificamente pelo país, inclusos modelagem e detalhes aprofundados nas medidas dos inventários.

Fonte: Adaptado de WRIBRASIL (2015).

Se as informações sobre as atividades não estiverem estabelecidas o IPCC disponibiliza dados estimados, conhecidos como dados *defaults*. Os *tiers* podem ser usado de forma em geral, inclusive às estimativas regionais ou a nível de produtor rural que se enquadram na classificação *Tier 2*, onde os dados específicos estão a nível das regiões brasileiras (WRIBRASIL, 2015).

### 2.5.1 Metodologia Numérica

Para fazer o cálculo de emissões de GEE que compõe o GHG *Protocol* Agrícola, são necessárias as equações utilizadas nessa ferramenta. Essas metodologias foram retiradas das fontes de WRIBRASIL (2015) que organizou todos procedimentos metodológico tratados nessa seção.

Essas abordagens seguem as orientações utilizadas no Segundo Inventário Brasileiro de Emissões de Gases de Efeito Estufa, que foi publicado em 2010 pela Coordenação Geral de Mudanças Globais do Ministério da Ciência e Tecnologia. O referido inventário segue as diretrizes estabelecidas pelo IPCC *Guidelines* de 2006, bem como os relatórios de referência da Terceira Comunicação Nacional, além de fontes científicas relacionadas à área (WRIBRASIL, 2015).

A seguir, serão abordados todos os procedimentos necessários para calcular as emissões de GEE no sistema produtivo do café: aplicação de fertilizantes orgânicos; aplicação de fertilizantes nitrogenados sintéticos (exceto uréia); aplicação de calcário; aplicação de

ureia; operações mecanizadas e; energia elétrica. Os fatores de emissão e remoção estão sintetizados nos Apêndices E e F.

#### 2.5.1.1 Aplicação de Fertilizantes Orgânicos

A equação (2), é usada para mensurar as emissões de óxido nitroso, oriundos da utilização de fertilizantes orgânicos.

$$N_2O_{AD.ORG} = Q_{ORG} * N_{ad}(1-FRAC_{GASM})EF_1*(44/28) \quad (2)$$

Onde:

$N_2O_{AD.ORG}$  = emissão de óxido nitroso inerente à aplicação de fertilizantes orgânicos (kgN<sub>2</sub>O/kg);

$Q_{ORG}$  = quantidade de adubo orgânico aplicado (kg);

$N_{ad}$  = percentual de nitrogênio do adubo orgânico (%);

$FRAC_{GASM}$  = fração do N aplicado que volatiliza na forma de NH<sub>3</sub> e NO<sub>x</sub> (%);

$EF_1$  = fator de emissão (%);

44/28 = conversão de N para N<sub>2</sub>O.

#### 2.5.1.2 Aplicação de fertilizantes nitrogenados sintéticos (Excetos ureia)

A equação (3), é usada para mensurar as emissões de óxido nitroso, oriundos da utilização de fertilizantes sintéticos.

$$N_2O_{FERT} = N_{FERT} (1 - FRAC_{GASF})EF_1*(44/28) \quad (3)$$

Onde:

$N_2O_{FERT}$  = emissão de óxido nitroso inerente à aplicação de fertilizantes nitrogenados (kgN<sub>2</sub>O/kg de adubo aplicado);

$N_{FERT}$  = quantidade de N aplicado como fertilizante nitrogenado (%);

$FRAC_{GASF}$  = fração do N aplicado que volatiliza na forma de NH<sub>3</sub> e NO<sub>x</sub> (%);

$EF_1$  = fator de emissão (%);

44/28 = conversão de N para N<sub>2</sub>O.

#### 2.5.1.3 Aplicação de calcário

A equação (4), é usada para calcular a emissão de CO<sub>2</sub> no processo de calagem.

$$CO_{2CÁLCARIO} = (Q_{CALCÍTICO} * FE_{CALCÍTICO} + Q_{DOLIMÍTICO} * FE_{DOLIMÍTICO}) * (44/12) \quad (4)$$

Onde:

CO<sub>2CÁLCARIO</sub> = emissão de CO<sub>2</sub> associada à aplicação de calcário no solo (kg CO<sub>2</sub>);

Q<sub>CALCÍTICO</sub> = quantidade anual de calcário calcítico (CaCO<sub>2</sub>) aplicado ao solo por ano (kg);

FE<sub>CALCÍTICO</sub> = fator emissão – conteúdo de carbono no calcário (%);

44/12 = fator conversão de C para CO<sub>2</sub>.

#### 2.5.1.4 Aplicação de ureia

A equações (5) e (6), calculam as emissões inerentes à aplicação de ureia. As aplicações são divididas de duas maneiras: emissões de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). A equação (5) está associada as emissões de N<sub>2</sub>O e a equação (6) está associada as emissões de CO<sub>2</sub>.

$$N_{2OUREIA} = N_{FERT} (1 - FRAC_{GASFU}) * EF_1 * (44/28) \quad (5)$$

Onde:

N<sub>2OUREIA</sub> = emissão de óxido nitroso associada à aplicação de ureia (kg N<sub>2</sub>O/kg de adubo aplicado);

N<sub>FERT</sub> = quantidade de N aplicado como ureia (kg);

FRAC<sub>GASFU</sub> = fração de N aplicado que volatiliza na forma de NH<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> (%);

EF<sub>1</sub> = fator de emissão (%);

44/28 = conversão de N para N<sub>2</sub>O.

$$CO_{2UREIA} = Q_{UREIA} * FE_{UREIA} * (44/12) \quad (6)$$

Onde:

CO<sub>2UREIA</sub> = emissão de CO<sub>2</sub> associada à aplicação de ureia no solo (kg CO<sub>2</sub>);

Q<sub>UREIA</sub> = quantidade de ureia aplicada ao solo (Kg);

FE<sub>UREIA</sub> = fator de emissão – conteúdo de carbono no calcário (%);

44/12 = fator de conversão de C para CO<sub>2</sub>.

### 2.5.1.5 Operações mecanizadas

Calcular emissões de GEE oriundas das operações mecanizadas, pode ocorrer de duas formas. É imprescindível que se atente à escolha para não fazer dupla contagem.

A - Consumo de Combustível: cálculos a partir do uso de óleo diesel na produção em sua totalidade de acordo com a equação (7).

$$CO_{2DIESEL} = Q_{DIESEL} * FE_{DIESEL} \quad (7)$$

Onde:

$CO_{2DIESEL}$  = emissão de  $CO_2$  associada ao consumo de óleo diesel (kg  $CO_2$ );

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

$FE_{DIESEL}$  = fator de emissão do óleo diesel (kg  $CO_2/L$ ).

A mensuração das emissões é realizada com base nos fatores de emissão apresentados na Tabela 4, que são fundamentais para calcular com precisão o impacto ambiental da atividade em questão. Vale destacar que, por meio da aplicação da equação (7), são quantificadas não apenas as emissões de biodiesel, mas também as de outros gases de GEE. Esse método abrangente de avaliação permite uma análise mais completa e precisa dos impactos ambientais, considerando uma gama mais ampla de emissões e não se limitando a um único gás.

Tabela 4 - Fatores de emissão de queima de óleo diesel (kg $CO_2/L$ ).

COMBUSTÍVEL	$CO_2$	$CH_4$	$N_2O$
Diesel	2,681	0,0003	0,00002
Biodiesel	2,499	-	-

Fonte: Adaptado de WRIBRASIL (2015).

B – Estimativa sobre as operações: nessa modalidade, os cálculos são contabilizados através da operação por atividade, por hectare. Exemplo: uma operação de colheita, que tem um índice 7 hora máquina/hectare; operação de plantio, que tem um índice de 17 hora máquina/hectare. Sendo assim, a equação (8), calcula o consumo de óleo diesel, na utilização das máquinas.

$$Q_{DIESEL} = HM_{ha} * A_p * 20 \quad (8)$$

Onde:

$HM_{ha}$  = hora máquina da operação por hectare (h);

$A_p$  = área plantada (ha);

20 = consumo médio de diesel por hora máquinas (litros/h).

### 2.5.1.6 Energia elétrica

A estimativa das quantidades de  $CO_2$  inerentes às gerações elétricas e que compõem os inventários, são determinadas pelos fatores de emissão de dióxido de carbono para energia elétrica através das médias das emissões geradas, de modo que considerem todas usinas geradoras. Sendo assim, há um Sistema Interligado Nacional (SIN) que permite que todos os âmbitos produtivos calculem suas emissões multiplicando a energia consumida pelo fator emissor e somando todos os resultados, onde, esse total se resulta às emissões do SIN quantificando as emissões de energia elétrica gerada em um momento específico, compõem inventários em geral.

Utiliza-se a equação (9), para calcular as emissões oriundas do uso de energia elétrica. Os fatores de emissões estão tabelados nos anexos: A, B, C e D.

$$CO_{2EE} = EE * EF \quad (9)$$

Onde:

$CO_{2EE}$  = emissão de  $CO_2$  ( $tCO_2$ );

EE = consumo de energia elétrica (MWh);

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

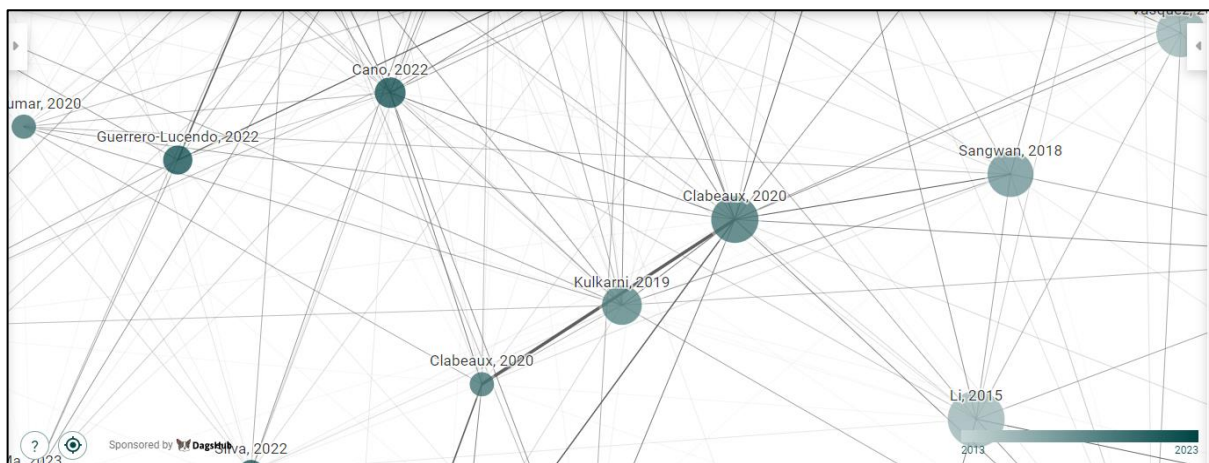
## CAPÍTULO 3

### METODOLOGIA

Este estudo adota uma abordagem quali quantitativa e exploratória, o que viabiliza a obtenção de informações práticas aplicáveis e enriquecedoras para pesquisas futuras. Essa metodologia permite uma descrição minuciosa das características dos fenômenos investigados (GIL, 2008).

Na abordagem quali quantitativa adotada neste estudo, destaca-se o levantamento do referencial teórico. Além das ferramentas convencionais, como Google Acadêmico, IEEE Xplore, Web of Science e a plataforma Sucupira, foi utilizado um *software* de busca especializado que realiza buscas sistemáticas e analisa trabalhos científicos, organizando as citações em uma estrutura hierárquica (Figura 12).

Figura 11 - Busca sistematizada de referências bibliográficas



Fonte: CP (2023).

A partir dessas análises é montado de forma instantânea um gráfico que correlaciona os trabalhos pesquisados de acordo com as similaridades (autores e coautores citados, palavras-chaves, local e título). Mesmo se não tiver citação direta das produções, de alguma forma podem estar correlacionados por conceitos, co-citação e acoplamento bibliográfico.

Dessa forma, o programa subentende que dois ou mais trabalhos científicos com citações e referências similares tem uma chance de tratar do mesmo assunto através das palavras-chaves. Uma vez feito o levantamento sistematizado de referências bibliográficas, parte-se às práticas *in loco* para a coleta de dados, onde posteriormente serão tratados de forma organizada para análise e interpretação de acordo com os resultados encontrados a luz da teoria.

Como abordagem exploratória será elaborado um inventário de emissões de GEE para fazer comparações e análises de projetos similares para propor ajustes inerentes ao sistema produtivo cafeeiro. Todas as etapas do presente estudo serão realizadas em estrita conformidade com os princípios éticos de pesquisa, garante o respeito pelos participantes, a confidencialidade dos dados e o cumprimento de todas as normas e regulamentações aplicáveis.

### 3.1 Área de estudo

A unidade produtiva cafeeira localizada no município de Monte Carmelo na região do Triângulo Mineiro, abrange uma área total de 88,99 hectares, como mostra a Figura 13. Dessa área, 62,36 hectares são dedicados à cafeicultura, com um total de 234.436 pés de café distribuídos em 8 talhões (T), estabelecidos entre os anos de 2015 a 2018. Os talhões estão situados em áreas com relevo misto, incluindo declives.

Figura 12 - Área total da unidade produtiva cafeeira estudada



Fonte: Google (2024).

A região tem altitude média de 990 metros, temperaturas amenas e uma latitude igual a -18.785599 e longitude de -47.563361 e proporciona condições climáticas favoráveis para o cultivo de café de alta qualidade por suas características ambientais e geográficas singulares. Dessa maneira, há o conselho regulador que certifica as unidades produtivas da região com o selo de Garantia de Origem e Qualidade ou Denominação de Origem (D.O.).

Ter um selo de qualidade pode trazer uma série de benefícios para uma unidade produtora de café, inclui aumento da confiança dos consumidores, diferenciação no mercado, valor agregado aos produtos, acesso a novos mercados e demonstração de responsabilidade social e ambiental. Para que uma fazenda produtora dessa região seja certificada, é necessário que ela esteja localizada dentro das delimitações geográficas designadas pelo conselho, assim como mostra a Figura 14, além de constar as seguintes verificações:

- altitude: máxima 1.300 metros e mínima 800 metros;
- espécie oficial: *Coffea arabica*;
- através da Metodologia SCAA (*Specialty Coffe Association of America*) ter um desempenho mínimo de 80 pontos;
- dentro do escopo de boas práticas, seguindo a legislação brasileira;
- logístico realizado apenas em armazéns inerentes às cooperativas que são licenciadas e;
- uso apenas da embalagens oficiais do café destacadas com o Selo de Procedência Garantida de Origem e Qualidade.

Figura 13 – Unidade produtiva dentro delimitação designada pelo Conselho Regulador



Fonte: FSB (2024, p. 03).

A metodologia de café SCAA representa um conjunto abrangente de diretrizes e padrões meticulosamente desenvolvidos pela associação para avaliar e classificar a qualidade do café. Reconhecida globalmente e amplamente adotada na indústria cafeeira, essa metodologia desempenha um papel fundamental na garantia da consistência da avaliação sensorial e da qualidade do café em todo o processo produtivo.

As variáveis de avaliação incluem uma ampla gama de aspectos, como sabor, aroma, corpo, acidez, doçura e balanço, cuidadosamente analisadas por analistas profissionais por meio de testes de xícaras ou *cupping*, segue critérios específicos estabelecidos. Além disso, a metodologia também inclui diretrizes detalhadas para cultivo, processamento, torrefação e preparo de café crus, perfis de torra e métodos de extração, assegura a consistência e a excelência em todas as etapas da produção do café.

A unidade estudada possui uma série de certificações, incluindo os selos CERTIFICA MINAS, RAIN FOREST ALLIANCE e UTZ, entre outros (Figura 15). Essas certificações são uma prova do compromisso da unidade com a adesão a padrões exigentes de qualidade, sustentabilidade e boas práticas agrícolas em todas as etapas da cadeia produtiva.

Figura 14 - Selos de certificação nacional e internacional da unidade produtiva estudada.



Fonte: FSB (2024).

É válido ressaltar que todas as informações são de importância para a síntese aprimorada dos resultados. Cada dado e detalhe contribuem para uma análise mais completa e precisa, permitindo uma compreensão mais abrangente do cenário em questão. Portanto, a atenção meticulosa a cada informação apresentada é fundamental para garantir a integridade e a relevância dos resultados obtidos.

### 3.2 Procedimento Metodológico

A avaliação dos balanços de emissões de GEE na unidade produtora de café foi

conduzida seguindo as orientações do IPCC (IPCC, 2019) e as metodologias estabelecidas pelo *GHG Protocol* para a agricultura (WRI, 2015) e para florestas e agroflorestas (WRI, 2020), desenvolvidas pelo *World Resources Institute* em colaboração com a Embrapa e a Unicamp.

Essas diretrizes forneceram a estrutura de cálculo, assim como os fatores de emissão e remoção de GEE, adaptados para a realidade brasileira. Além disso, para este estudo, foram incorporados dados fornecidos pelo responsável da unidade que abordam as operações e práticas de manejo do café durante à safra de setembro de 2022 à agosto de 2023.

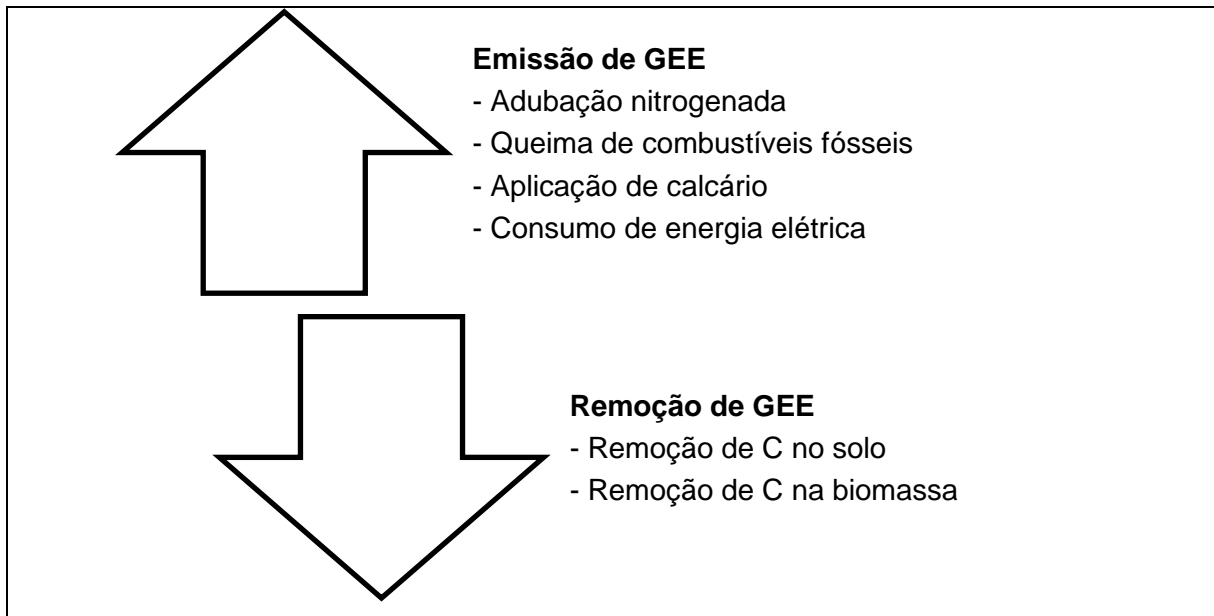
A metodologia utilizada nesse estudo foi dividida da seguinte maneira:

- i. Estoque de carbono na biomassa
- ii. Estoque de carbono no solo
- iii. Emissões da produção na safra 2022/2023
- iv. Remoções de carbono da biomassa na safra 2022/2023
- v. Remoções de carbono no solo na safra 2022/2023
- vi. Balanço de emissões e remoções na safra 2022/2023

A Figura 16 representa as fontes de emissão e remoção de GEE que serão analisadas para os cálculos da seguinte maneira:

- Emissões de óxido nitroso ( $N_2O$ ) e dióxido de carbono ( $CO_2$ ) decorrentes da aplicação de fertilizantes nitrogenados no solo;
- Emissões de  $CO_2$  provenientes da aplicação de calcário no solo como corretivo;
- Emissões de  $CO_2$ ,  $CH_4$  e  $N_2O$  resultantes da queima de combustíveis fósseis;
- Emissões de  $CO_2$  inerentes ao consumo de energia elétrica;
- Remoções de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) resultantes do sequestro de carbono no solo;
- Remoções de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) resultantes dos incrementos de biomassa acima do solo dos cafeeiros - carbono armazenado na parte aérea das plantas de café.

Figura 15 - Esquemas para análise das fontes de emissão e remoção.



Fonte: Autor (2024).

É pertinente que sejam detalhados os elementos do escopo metodológico, visando aprimorar a compreensão do estudo. A explicitação minuciosa dos procedimentos e estratégias empregados na condução da pesquisa contribui para uma apreciação mais aprofundada e criteriosa do trabalho em análise.

O planejamento de coleta leva em consideração os talhões de plantação de café que são meticulosamente identificados e mapeados na área de estudo, com base em critérios de idade, variedade, topografia e histórico de manejo. A área total será subdividida em oito estratos distintos, correspondentes aos talhões identificados, a fim de permitir uma estratificação representativa e homogênea para análise (EXATA BRASIL, 2024; ICROP, 2024)

### 3.2.1 Estoque de carbono na biomassa

O estoque de carbono na biomassa refere-se à quantidade de carbono armazenado acima do solo nos cafezais, resultado da decomposição de todo material orgânico presente na estrutura da planta, incluindo tronco, ramos e galhos, com exceção das raízes. Desse modo, faz-se a medição da biomassa e em seguida aplica-se os fatores de conversão.

O procedimento comum para calcular o estoque de carbono na biomassa consiste em retirar plantas inteiras de acordo com a amostragem da área produtora de café. Logo após, faz a divisão dos galhos, folhas, troncos e liteira para secagem. Então, faz-se a pesagem da biomassa seca e aplica os resultados na equação alométrica para encontrar a estimativa da

biomassa total que em produto com a fração de carbono, encontra-se o conteúdo de carbono (IMAFLOA, 2023).

A idade da plantas é um fator muito importante para serem levadas em consideração para os cálculos. Para as plantas jovens, a taxa de crescimento é geralmente mais rápidas em termos de incremento na biomassa. No entanto, a biomassa total pode ser menor em comparação com plantas mais maduras. À medida que as plantas amadurecem, elas tendem a acumular mais biomassa ao longo do tempo, aumentando o estoque de carbono, visto os troncos mais grossos e a quantidade maior de galhos.

Dessa maneira, a equação alométrica poderá ser formulada, levando em consideração o período de 15 anos como limite temporal de incremento de biomassa. O índice de percentagem de carbono na biomassa será calculada de acordo com o peso de massa seca e a quantidade de carbono orgânico total coletados no solo (Negash, *et al.*, 2013; GHG Protocol Florestas e SAFs).

O valor da biomassa considerada nesse estudo são inerentes à biomassa total acima do solo, calculada com base na equação (10).

$$B_{AS} = 0,147 * D_{40}^2 \quad (10)$$

$B_{AS}$  = biomassa acima do solo

$D$  = diâmetro do tronco do cafeeiro à 40cm do solo.

Em seguida, utiliza-se o valor da biomassa para calcular o estoque de CO<sub>2</sub> equivalente, calculado a partir da seguinte equação (11):

$$CO_{2BAS} = B_{AS} * C_{bio} * (44/12) \quad (11)$$

$CO_{2BAS}$  = estoque de CO<sub>2</sub> associada a biomassa em toneladas métrica

$B_{AS}$  = biomassa acima do solo

$C_{bio}$  = fração de carbono da matéria seca

44/12 = fator de conversão de C para CO<sub>2</sub>.

Dessa forma, é necessário coletar os dados para obter o diâmetro médio dos troncos selecionados por uma amostra estratificada. Após, calcular a biomassa acima do solo pela equação alométrica. Multiplica-se então o valor encontrado pela quantidade total de plantas no talhão para obtenção da biomassa total. Finaliza, fazendo o produto entre a biomassa total e a porcentagem de carbono.

### 3.2.2 Estoque de carbono no solo

Para avaliar o estoque de carbono no solo, foram coletadas amostras de solo deformadas usando anéis volumétricos, considerando as profundidades de até 30cm em cada talhão como é requisitado pelo IPCC (2019), assim como, GHG Protocol. Essa coleta teve como objetivo determinar a densidade aparente do solo em cada área. As amostras foram então submetidas a análises laboratoriais para calcular o teor de carbono presente no solo. Os resultados obtidos possibilitam uma estimativa do estoque de carbono no solo.

Os levantamentos da densidade aparente do solo foram realizados pelo iCrop, cuja atividades consistem em fornecer tecnologia e consultoria agrícola (ICROP, 2024). Já o relatório de ensaio foi fornecido pela Exata Brasil que é uma rede brasileira de relatórios analíticos, como análises agroindustriais acreditada na norma ISO/IEC17025:2017 e tem aprovação do Programa de Análises de Qualidade de Laboratórios de Fertilidades da Empraba Solos. Todos os resultados estão em Anexo (EXATA BRASIL, 2024).

Seguindo as diretrizes e recomendações estabelecidas pelo IPCC (2019), o carbono no solo foi mensurado por meio do método de combustão por via seca da amostra, onde o solo é colocado em amostras, depois de seco, moídas e peneiradas.

O cálculo do estoque de carbono no solo foi calculado a partir da equação (12):

$$E_c = [(C_s * D_s * e) / 10] \quad (12)$$

$E_c$  = estoque de carbono orgânico em determinada profundidade (Mg/ha)

$C_s$  = teor de carbono orgânico total na profundidade amostrada (g/kg)

$D_s$  = densidade aparente do solo na profundidade amostrada (Kg/dm<sup>3</sup>)

$e$  = espessura da camada considerada (cm)

### 3.2.3 Emissões de GEE

As informações utilizadas nos cálculos correspondem à safra 2022/2023, que compreende o período de setembro de 2022 a agosto de 2023. Este intervalo já é fundamental para a compreensão abrangente dos efeitos ambientais ao longo do processo e base para outras estimativas. Sendo assim, as fontes de emissão consideradas englobam:

1. Utilização de combustíveis fósseis em operações mecanizadas
2. Aplicação de calcário
3. Aplicação de fertilizantes nitrogenados

#### 4. Consumo de energia elétrica

As operações foram predominantemente abastecidas com diesel, totaliza um consumo de 11.800 litros, onde:

- 8.200 litros foram utilizados nas atividades operacionais;
- 2.400 litros foram destinados ao deslocamento e;
- 1.200 litros foram empregados na colheita.

Em relação à energia elétrica, o consumo totalizou 26,17 MWh. É importante frisar que para chegar nesse valor, a informação foi dada em valor monetário. Uma vez, verificada as informações fornecidas pela companhia fornecedora de energia elétrica do local é possível calcular consumos fazendo as conversões de unidades de medidas e as regras de análise dimensional matemáticas.

Na Tabela 5 estão detalhadas as quantidades específicas de cada produto utilizado ao longo desse período.

Tabela 5 - Fontes de emissão contabilizadas e suas respectivas aplicações no período da safra.

QUANTIDADE	UN. DE MEDIDA	FONTE DE EMISSÃO	GEE
15,6	t	Calcário dolomítico	CO <sub>2</sub>
66,6	t	Ad. químico 19.04.19	N <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub>
29,4	t	Ad. químico 29.00.00	N <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub>
202,6	t	Calcário calcítico	CO <sub>2</sub>
11.800	L	Diesel	CO <sub>2</sub> , NH <sub>4</sub> e N <sub>2</sub> O
26,17	MWh	Energia Elétrica	CO <sub>2</sub>

Fonte: Autor (2024).

Essas quantidades possuem uma importância fundamental, uma vez que serão submetidas à quantificação e, posteriormente, utilizadas nos cálculos que conduzirão aos resultados finais. O rigor na determinação dessas quantidades é essencial para assegurar a precisão e a confiabilidade das conclusões obtidas ao longo da pesquisa.

#### 3.2.4 Remoções de carbono da biomassa

As absorções de carbono da biomassa se referem aos aumentos anuais na quantidade de biomassa das plantações de café, ou seja, ao incremento líquido da biomassa das plantas por ano. Segue a abordagem do GHG *Protocol*, a absorção de GEE através do aumento da biomassa acima do solo foi calculada para os talhões estabelecidos nos anos de 2008 e 2011.

O método de cálculo está em conformidade com o GHG *Protocol* para Florestas, que

sugere que os incrementos de biomassa das plantas de café devem ser monitorados até os 15 anos de idade da planta. Portanto, para o cálculo do aumento anual de biomassa para o ano safra 2022/2023 foram consideradas 234.436 plantas, todas com menos de 15 anos de idade.

### 3.2.5 Remoções de carbono no solo

Para estimar a remoção de carbono no solo, considera a média do estoque atual na área produtiva da, advindas de análises de carbono das amostras coletadas *in loco* na camada de profundidade de 0 a 30 cm. Esse valor é dividido pela idade média dos talhões (6,5 anos), resulta assim a estimativa da remoção anual do solo.

### 3.2.6 Balanço de emissões e remoções

O cálculo do balanço das emissões e remoções é derivado da adição do total de emissões, indicadas por valores positivos (+), e das remoções, representadas por valores negativos (-).

As emissões foram calculadas com base nas fases de produção agrícola do café na propriedade, excluindo as emissões originadas por processos industriais, atividades de processamento pós-colheita e logística externa, como transporte de insumos e produtos finais (uma vez que essas atividades não ocorrem na unidade de produção), através da equação (13).

$$\text{Balanço de Emissões de GEE} = \text{Emissão de GEE} - \text{Remoção de GEE} \quad (13)$$

Os valores estimados de emissão e remoção de GEE para cada prática agrícola mencionada anteriormente foram convertidos em equivalentes de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>e), utilizando os fatores de Potencial de Aquecimento Global (GWP) fornecidos pelo 5º Relatório de Avaliação do IPCC (CO<sub>2</sub> = 1, CH<sub>4</sub> = 28 e N<sub>2</sub>O = 265) (IPCC, 2021).

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

As estimativas anuais de emissões de GEE para a safra de setembro de 2022 à agosto de 2023 foram de 2,3 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente por hectare por ano (tCO<sub>2</sub>e/ha/ano). A aplicação de calcário foi a principal fonte de emissões, representando 67% do total, seguida pelo consumo de combustível, com 22%. O uso de adubos nitrogenados e o consumo de energia elétrica contribuíram com 11% das emissões. Quanto às remoções de GEE, o total foi de -1.081,2 tCO<sub>2</sub>e, o que resulta em -17,3 tCO<sub>2</sub>e/ha/ano. A remoção de carbono no solo é maior em 12% em relação à biomassa com o total de 56%.

O estoque de carbono na biomassa tem uma percentagem de 10%, enquanto o estoque de carbono no solo é 90%. Isso, porque todas as plantas tem em média de 6,5 anos. Dessa maneira, o balanço de carbono da unidade produtiva resultou em um valor médio de remoção de -2,6 tCO<sub>2</sub>e/ha/ano para a safra 2022/2023, com uma pegada de carbono de -7,2 kg CO<sub>2</sub>e/kg de café verde.

#### 4.1 Emissão de GEE

As emissões provenientes do uso de combustíveis, aplicação de adubos nitrogenados químicos, calcário e energia elétrica para a safra 2022/2023 foram meticulosamente avaliadas, totaliza 144,13 tCO<sub>2</sub>e. Esta soma é representativa de uma emissão média por hectare de 2,31 tCO<sub>2</sub>e/ha, fornecendo uma perspectiva clara e detalhada da pegada de carbono associada à produção de café nesta área específica.

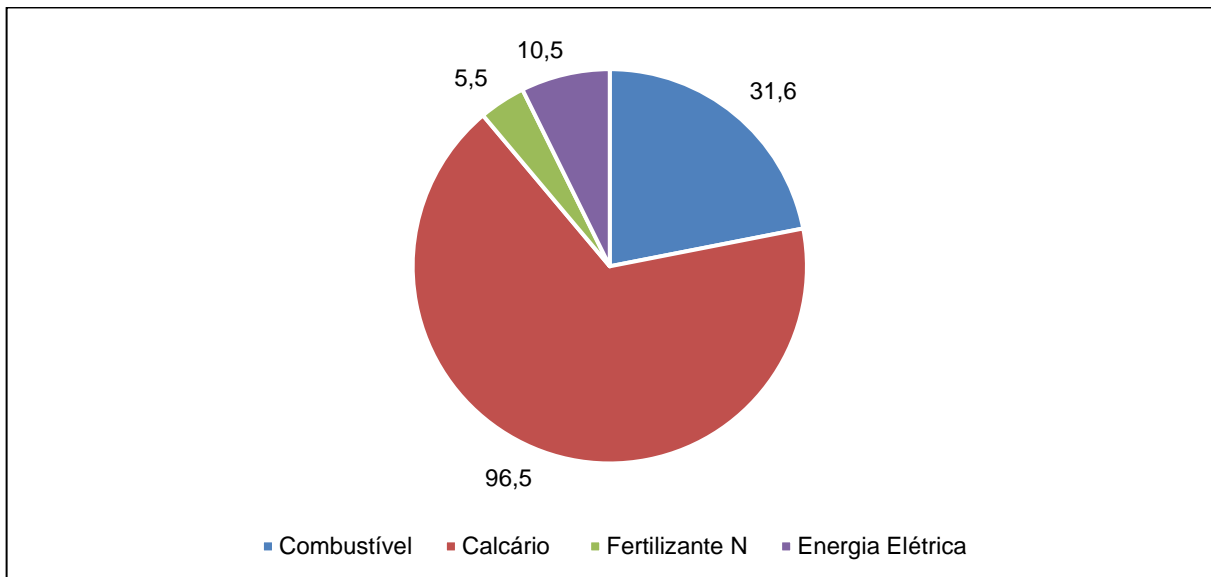
De todos os fatores considerados, a aplicação de calcário emergiu como a principal fonte emissora de GEE, contribui significativamente com 96,5 tCO<sub>2</sub>e. Esta descoberta ressalta

a importância de investigar e implementar práticas agrícolas mais sustentáveis para mitigar essas emissões.

O uso de combustível surgiu como a segunda maior fonte, responsável por uma emissão considerável de 31,6 tCO<sub>2</sub>e, destaca a necessidade de explorar alternativas mais eficientes em termos de carbono. Por fim, a aplicação de adubos nitrogenados, representa a menor proporção entre as fontes de emissão, ainda contribuiu com 5,5 tCO<sub>2</sub>e.

A Figura 17 apresenta uma visualização clara da proporção de cada fonte nas emissões totais, com índices valiosos para o desenvolvimento de estratégias de redução de emissões e sustentabilidade agrícola a longo prazo.

Figura 16 - Proporção de Emissões de GEE (tCO<sub>2</sub>e) por fonte de emissão.



Fonte: Autor (2024).

Com base nesses índices, já é evidente que as emissões mais elevadas ocorrem devido à aplicação de calcário, enquanto as menores são associadas à aplicação de fertilizantes nitrogenados.

#### 4.2 Remoções de GEE

O valor de remoção de GEE se resulta em -17,3 tCO<sub>2</sub>e/ha/ano. O cálculo dessa remoção de carbono da cultura de café, foi empregado o modelo de crescimento do cafeeiro, considerando a produtividade por planta segundo Souza (2018). Dessa maneira, as fontes de remoção analisadas foram o sequestro de carbono oriundos dos incrementos da biomassa das plantas de cafés e a remoção de carbono no solo.

Estima-se a média da remoção de carbono no solo em 165 tC/ano (605,6 tCO<sub>2</sub>e/ano),

que em remoção média anual, resulta em  $-2,6$  tC/ha/ano ( $-9,7$  tCO<sub>2</sub>e/ha/ano). Para a remoção do carbono na biomassa aérea, o valores aproximados são em  $-475,6$  tCO<sub>2</sub>e/ano ( $-7,6$  tCO<sub>2</sub>e/ha/ano). Têm-se em média  $-17,3$  tC/ha/ano, onde foram considerados as plantas de café, a dinâmica do material orgânico no solo e área de produção. A Tabela 6, mostra os valores das remoções em cada fonte estudada de acordo com a área produtiva total em hectares.

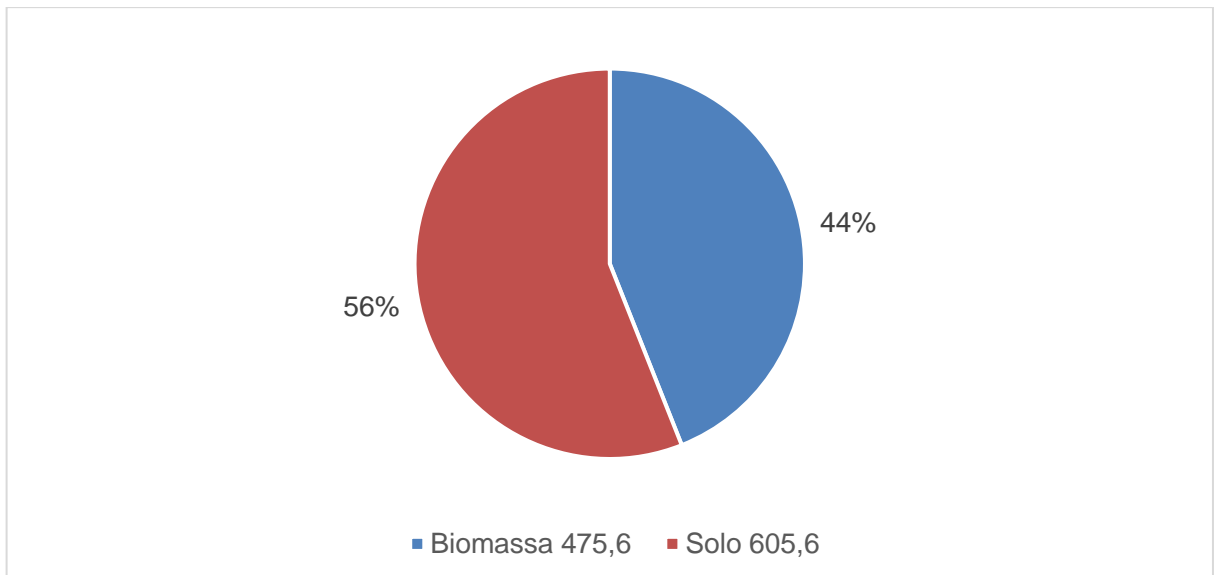
Tabela 6 - Valores das remoções calculadas para fontes: biomassa aérea e solo.

Fonte de Remoção	tCO <sub>2</sub> e (acumulada)	tCO <sub>2</sub> e/ha/ano	%
Biomassa aérea	-475,6	-7,6	44
Solo	-605,6	-9,7	56
Total	1.081,2	-17,3	100

Fonte: Autor (2024).

A remoção de carbono pelo solo constitui 56%, enquanto a biomassa corresponde a 44% do total estimado de sequestro de carbono para a produção de café verde no ano safra 2022/23, conforme ilustrado na Figura 18.

Figura 17 - Valores proporcionais das fontes de remoções de GEE da unidade produtiva estudada.



Fonte: Autor (2024).

#### 4.2.1 Estoque de carbono da biomassa

A Tabela 7, mostra os diâmetros em centímetros dos troncos selecionados através de amostra estratificada para coletas de dados. Para o cálculo do índice de percentual de carbono na biomassa, os dados foram coletados das análises laboratoriais (EXATA BRASIL, 2024).

Tabela 7 - Média dos diâmetros do tronco de café a 40 cm do solo.

TALHÕES	DIÂMETROS (cm)
T1	3,5
T2	3,5
T3	2,5
T4	2,5
T5	2,4
T6	2,7
T7	2,7
T8	2,7

Fonte: Autor (2024).

O estoque de carbono presente na biomassa aérea de todas as plantas de café na unidade produtiva foi determinado através da equação (10) e equação (11). Como resultado, todas as plantas juntas acumulam um total de 129,6 tC na biomassa, o que equivale a 475,6 tCO<sub>2</sub>e.

Esse cálculo leva em consideração o tempo desde o plantio de cada talhão. A Tabela 8, ilustra a relação entre o estoque de carbono e a idade de cada talhão em relação ao ano de 2023.

Tabela 8 - Estoque da biomassa acima do solo com idades distintas, considerando o total estocados em massa de carbono e CO<sub>2</sub>.

GRUPO	IDADE (PLANTAS)	Biomassa	tC	tCO <sub>2</sub> e
T1 e T2	8 anos	107,5	50,6	185,6
T3 e T4	7 anos	53,6	25,2	92,4
T5	6 anos	25,2	11,9	43,5
T6, T7 e T8	5 anos	89,3	42,0	154,1

Fonte: Autor (2024).

Para conversão de carbono para dióxido de carbono, que é baseada na proporção molar dos elementos na molécula, resultando em aproximadamente 3,67 toneladas métricas

de CO<sub>2</sub> por tonelada métrica de carbono.

#### 4.2.2 Estoque de carbono no solo

Para atender às variáveis da equação (12), a Tabela 9 apresenta os valores do teor de carbono orgânico total nas diferentes profundidades das amostras, a espessura da camada considerada, baseada no GHG *Protocol* e no IPCC (2019), que variam de 0 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm, assim como a densidade aparente do solo.

Tabela 9 - Variáveis para o cálculo do Estoque de Carbono no solo para cada Talhão.

TALHÃO	Densidade Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Carbono Orgânico (g/dm <sup>3</sup> )	Profundidade (cm)
T1	1,22	17,4	0 – 10
	1,19	16,5	10 – 20
	1,15	15,5	20 – 30
T2	1,26	17,4	0 - 10
	1,37	16,5	10 – 20
	1,47	15,5	20 – 30
T3	1,20	13,4	0 – 10
	1,23	12,8	10 – 20
	1,26	12,1	20 – 30
T4	1,20	13,4	0 – 10
	1,28	12,8	10 – 20
	1,35	12,1	20 – 30
T5	1,20	16,6	0 - 10
	1,20	16,2	10 – 20
	1,40	15,8	20 – 30
T6	1,20	13,6	0 – 10
	1,27	12,2	10 – 20
	1,34	10,8	20 – 30
T7	1,36	13,6	0 - 10
	1,37	12,2	10 – 20
	1,38	10,8	20 – 30
T8	1,30	13,6	0 – 10
	1,34	12,2	10 – 20
	1,38	13,6	20 – 30

Fonte: Adaptado de (EXATAS BRASIL, 2024; ICROP, 2024).

Dessa maneira, foi calculado o estoque de carbono para cada hectare de acordo com a profundidade específica, conforme mostrado na Tabela 10.

Tabela 10 - Estoque de Carbono no solo para cada hectare de acordo com a camada específica.

TALHÃO	tC/ha	tCO <sub>2</sub> e/ha	Profundidade (cm)
T1	21,2	77,9	0 – 10
	19,6	72,1	10 – 20
	17,8	65,4	20 – 30
T2	21,9	80,5	0 - 10
	22,6	83,0	10 – 20
	22,8	83,6	20 – 30
T3	16,1	59,0	0 – 10
	15,7	57,8	10 – 20
	15,2	56,0	20 – 30
T4	16,1	59,0	0 – 10
	16,4	60,1	10 – 20
	16,3	59,9	20 – 30
T5	19,9	73,1	0 - 10
	19,4	71,3	10 – 20
	22,1	81,2	20 – 30
T6	16,3	59,9	0 – 10
	15,5	56,9	10 – 20
	14,5	53,1	20 – 30
T7	18,5	67,9	0 - 10
	16,7	61,3	10 – 20
	14,9	54,7	20 – 30
T8	17,7	64,9	0 – 10
	16,3	60,0	10 – 20
	18,8	68,9	20 – 30

Fonte: Autor (2024).

Com os resultados de estoque para cada hectare obtido, multiplica-se esses valores pela área de cada talhão para determinar a quantidade total de carbono equivalente estocado em cada região. A Tabela 11 apresenta esses valores detalhadamente, a contribuição de cada talhão para o estoque total de carbono na unidade produtiva para que seja possível visualizar e comparar a capacidade de sequestro de carbono entre as diferentes áreas.

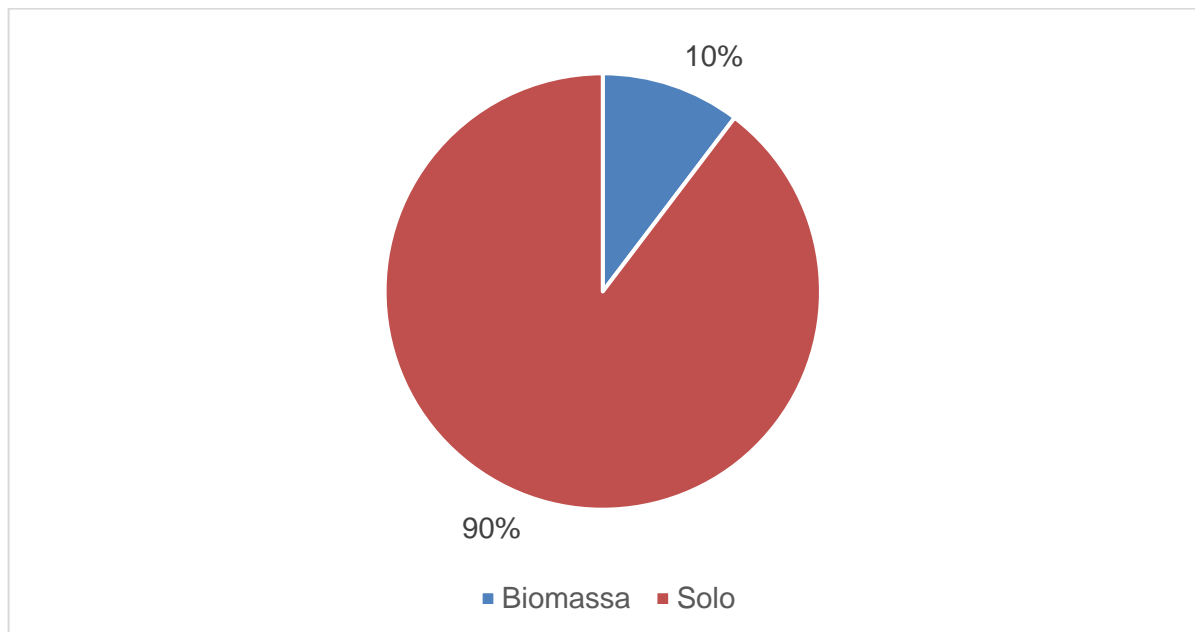
Tabela 11 - Estoque de Carbono por Talhão.

TALHÃO	Área (ha)	tC/ha	tC/ha <sub>Talhão</sub>
1	7,9	19,6	154,1
2	8,0	22,6	179,9
3	8,3	15,7	130,0
4	8,0	46,3	128,9
5	8,0	19,9	159,6
6	7,5	15,5	115,6
7	7,5	16,7	124,7
8	7,5	17,7	132,1

Fonte: Autor (2024).

Com base na média das amostras (17,2 tC/ha) de solo foi estimado que, na unidade produtiva, atualmente, há um estoque de carbono de 0 a 30 cm do solo de 1.124,9 tC, o que equivale a 4.128,4 tCO<sub>2</sub>e. Dessa maneira, é possível verificar a relação dos estoques de carbono na biomassa aérea e solo, como mostra a Figura 19.

Figura 18 - Estoque de GEE pelas fontes: solo e biomassa.



Fonte: Autor (2024).

A medição do volume atual de carbono armazenado no solo é de extrema importância para o planejamento, avaliação de impacto de ações e definição de metas com o objetivo de aumentar os estoques e, conseqüentemente, o sequestro de carbono no solo ao longo do tempo.

#### 4.2.3 Remoção de carbono na biomassa

Os aumentos anuais de biomassa dos cafeeiros representam as remoções de carbono da biomassa, ou seja, o crescimento líquido da quantidade de biomassa das plantas a cada ano. Utilizando a metodologia do GHG *Protocol*, a remoção GEE devido ao incremento de biomassa acima do solo foi calculada para todos os talhões. Esta metodologia está de acordo com o GHG *Protocol* Florestas, que recomenda que os incrementos de biomassa das plantas de café (*Coffea spp.*) sejam acumulados até que a planta atinja 15 anos de idade. Assim, o cálculo do incremento anual de biomassa para a safra 2022/2023 considerou um total de 234.435 plantas, todas com menos de 15 anos, conforme é mostrado na Tabela 12.

Tabela 12 - Número de plantas, ano de plantio e status em relação ao estoque/remoção dos grupos considerados para o cálculo da biomassa.

GRUPO	IDADE (PLANTAS)	QUANTIDADE (PLANTAS)	ESTOQUE/REMOÇÃO
T1 e T2	8 anos	59.436	Remoção
T3 e T4	7 anos	60.714	Remoção
T5	6 anos	30.112	Remoção
T6, T7 e T8	5 anos	84.173	Remoção

Fonte: Autor (2024).

#### 4.2.4 Remoção de carbono no solo

Para estimar a remoção de carbono no solo, considerou-se a média do estoque atual na área produtiva advindas de análises de carbono das amostras coletadas *in loco* na camada de profundidade de 0 a 30 cm. Esse valor é dividido pela idade média dos talhões, resulta assim a estimativa da remoção anual do solo, conforme é mostrado na Tabela 13.

Tabela 13 - Médias do estoque atual por hectare e a idade média dos talhões.

tCO <sub>2</sub> e	17,2
Idade plantas	6,5
Remoção	2,6

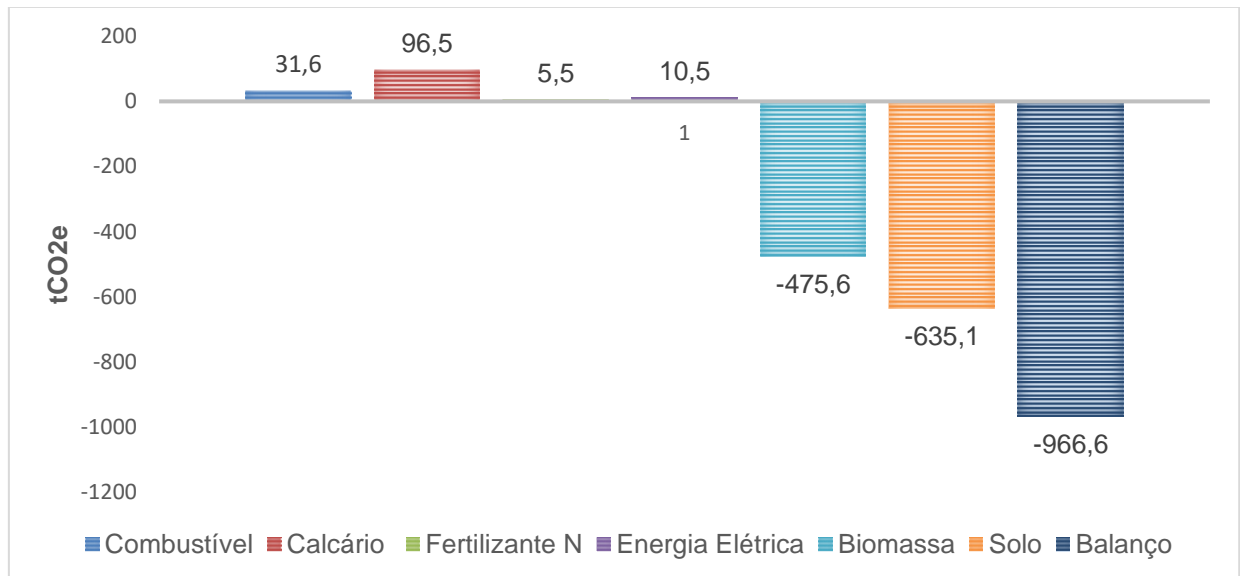
Fonte: Autor (2024).

### 4.3 Balanço de Emissões de GEE

Através da aplicação de métodos analíticos, foi conduzida uma minuciosa análise das emissões e remoções inerentes ao sistema produtivo da unidade cafeeira estudada. Este procedimento permitiu a elaboração e posterior cálculo do balanço de emissões decorrente das atividades produtivas.

Os resultados obtidos são apresentados de forma segmentada na Figura 20, onde são detalhadas as diversas fontes de emissão, bem como os componentes relativos ao estoque e remoção de carbono.

Figura 20 - Balanço de emissão/remoção de GEE por fontes de emissão/remoção.



Fonte: Autor (2024)

A razão matemática da área produtiva total e hectare para o intervalo da safra 2022/23 pela diferença entre as emissões e as remoções de GEE no meio produtivo é apresentado na Tabela 14.

Tabela 14 - Síntese do balanço de emissões/remoções de GEE no sistema produtivo cafeeiro, com referência à área (hectare) para produzir café verde - Safra 2022/23.

FONTE	tCO <sub>2e</sub> EM ÁREA TOTAL	tCO <sub>2e</sub> /ha
Emissões	144,1	2,3
Remoções	-1.110,2	-17,8
Balanço de emissões de GEE	-966,1	-15,5

Fonte: Autor (2024).

De acordo com os proprietários, a unidade em estudo tem uma capacidade produtiva de até 4.000 sacas de café por ano, resultando em uma média de produção de 28,9 sacas por hectare. Ao analisar os valores estimados do balanço de emissão/remoção de gases de efeito estufa, observa-se que este sistema produtivo removeu aproximadamente -0,4 tCO<sub>2</sub>e por saca de café verde (considerando sacas de 60kg). Para a safra 2022/23, a pegada de carbono do produto, calculada por quilograma de café verde, é de -7,6 kg CO<sub>2</sub>e/kg de café verde.

#### 4.4 Comparativo de dados

Nesta seção, será realizada uma comparação entre quatro estudos relevantes que abordam diferentes aspectos do inventário de emissão de GEE para a cultura do café. Considerando a escassez de estudos dedicados a esse tema específico, a seleção estratégica baseou-se em estudos de levantamento de mais de três safras analisadas no estado de Minas Gerais.

Estudo 1: Junior (2015) - investigou quatro unidades produtivas, abrangeu uma área total de 1.828,6 ha, das quais 462,94 ha são destinadas ao cultivo de café. O estudo envolveu aproximadamente dois milhões de pés de café com mais de 6 anos de idade, resultou em uma produtividade média de 11.770 sacas de café beneficiadas.

Estudo 2: Moreira *et al.* (2016) - quantificou as emissões de GEE provenientes do solo cultivado com café nas principais regiões produtoras do estado, incluindo o Cerrado Mineiro, Sul de Minas e Mata de Minas. O estudo abrangeu dados de quatorze fazendas ao longo de diferentes períodos biênios, oferecendo uma visão abrangente das emissões ao longo do tempo.

Estudo 3: Junior *et al.* (2020) - investigou quatro fazendas localizadas nos municípios de Guaranésia, Guaxupé e Monte Santo de Minas, com foco nas operações mecanizadas dentro do sistema produtivo de café. O estudo fornece redirecionamentos valiosos sobre os impactos das práticas agrícolas no inventário de emissões de GEE.

Estudo 4: Imaflora (2022) - conduziu uma série de estudos relacionados às mudanças climáticas, incluindo informações resumidas de amostras estratificadas de 40 fazendas distribuídas por toda a extensão do estado de Minas Gerais. Esses estudos abrangem as regiões do Cerrado, Matas de Minas e Sul de Minas, oferecendo uma visão abrangente das emissões de GEE na cultura do café sobre boas prática e tradicional.

##### 4.4.1 Emissões de GEE

Nesta seção, será realizada uma análise comparativa das emissões de GEE na

unidade produtiva cafeeira em estudo, o que considera não apenas as emissões diretamente associadas à produção de café, mas também outras fontes de emissão relevantes identificadas em quatro trabalhos de pesquisa distintos. Os valores observados serão minuciosamente analisados à luz das perspectivas apresentadas pelos respectivos autores, proporcionando uma compreensão mais ampla e contextualizada do impacto ambiental da atividade cafeeira.

#### 4.4.1.1 Consumo de combustível

A Tabela 15, apresenta um levantamento detalhado da contribuição do combustível, especificamente o Diesel, para as atividades relacionadas à cafeicultura em todos os estudos considerados. Esta análise tem como objetivo comparar esses dados com os resultados obtidos nesta pesquisa, proporciona uma visão abrangente da importância do diesel como fonte de emissão de gases de efeito estufa na produção de café.

Tabela 15 - Percentual de Emissões de GEE para o consumo de combustível.

ESTUDOS	EMIÇÃO DE GEE
Estudo 1	52,1%
Estudo 2	25%
Estudo 3	52%
Estudo 4	17%
Pesquisa	22%

Fonte: Autor (2024).

Os estudos revelam uma ampla variação nas proporções de emissões atribuídas ao combustível diesel, abrange uma faixa que vai de 17% a 52.1%. Essa variação é influenciada por diversos fatores, tais como as metodologias de medição adotadas, o escopo específico de cada estudo, as características singulares das amostras analisadas e a diversidade geográfica das regiões estudadas.

Os estudos 1 e 3 destacam-se por atribuir a maior parcela das emissões totais ao combustível diesel, com uma proporção significativa de 52% em cada um. Isso sugere que o uso de diesel nas atividades agrícolas examinadas nesses estudos desempenha um papel substancial na geração de emissões de gases de GEE. Os pesquisadores explicam esse alto valor, atribui-o às dificuldades encontradas durante a aragem, especialmente devido à presença de resíduos de culturas anteriores, como raízes, que podem interferir na eficiência das operações, demanda maior consumo de combustível.

Por outro lado, o estudo 2 apresenta uma proporção menor, atribuindo apenas 25% das emissões totais ao combustível diesel, em comparação com os estudos 1 e 3. Já o estudo 4 surpreende ao atribuir apenas 17% das emissões totais a esse combustível, representando a menor proporção entre todos os estudos analisados, o que valida a implementação de boas práticas na gestão do uso de combustível nessa realidade agrícola.

O cálculo desta pesquisa identifica 22% das emissões totais atribuídas ao combustível diesel, destaca ainda mais a variabilidade nas estimativas entre diferentes estudos. Esse indicativo reflete que a unidade produtiva adota boas práticas de manejo de combustível, alinhando-se aos resultados observados no estudo 4.

#### 4.4.1.2 Aplicação de Calcário

A Tabela 16, proporciona uma análise abrangente do percentual das emissões de GEE relacionadas à aplicação de calcário em todos os estudos considerados. Esta tabela é fundamental para entender a contribuição do uso de calcário para as emissões de GEE na cafeicultura, oferecendo uma visão comparativa das diferentes proporções observadas em cada estudo analisado.

Tabela 16 - Percentual de Emissões de GEE para a aplicação de calcário.

<b>ESTUDO</b>	<b>EMIÇÃO DE GEE</b>
Estudo 1	32,7%
Estudo 2	19%
Estudo 3	30,7%
Estudo 4	28%
Pesquisa	67%

Fonte: Autor (2024).

Observa-se que uma ampla variação nos percentuais de emissões de GEE atribuídas à aplicação de calcário entre os estudos e a pesquisa. Os valores variam de 19% a 67%, indicando diferenças significativas na contribuição relativa do calcário para as emissões de GEE em diferentes contextos e condições de pesquisa.

Essa pesquisa lidera nas emissões de GEE, demonstra o maior percentual relacionadas à aplicação de calcário, com 67%. Esse valor destaca a importância significativa do calcário como fonte de emissão de GEE na cafeicultura, de acordo com os dados analisados. É necessário observar essa diferença para validar se a necessidade de correção de solo e a quantidade aplicada estão satisfatórios.

#### 4.4.1.3 Aplicação de Fertilizante

Quantificar informações de emissão de GEE desempenha um papel crucial na análise e interpretação dos dados relacionados à aplicação de fertilizantes e suas consequências inerentes a cafeicultura. Através dessas informações que surgem suportes valiosos para orientar políticas, práticas agrícolas e tomadas de decisão visando a redução do impacto ambiental e a promoção da sustentabilidade na produção de café. Nesse sentido, os percentuais das emissões de GEE para aplicação de fertilizantes dos estudos e dessa pesquisa estão na Tabela 17.

Tabela 17 - Percentual de Emissões de GEE para a aplicação de fertilizantes.

<b>ESTUDO</b>	<b>EMIÇÃO DE GEE</b>
Estudo 1	71,9%
Estudo 2	50,5%
Estudo 3	66,6%
Estudo 4	42%
Pesquisa	4%

Fonte: Autor (2024).

Observa-se uma ampla variação dos índices de emissão de GEE para a aplicação de fertilizantes que varia de 4% a 71,9% e indica uma diferença significativa na contribuição relativa da aplicação de fertilizantes para as emissões de GEE em diferentes contextos agrícolas.

Para todos os autores, a aplicação de fertilizantes nitrogenados e sintéticos está no topo dos *rankings* de emissão de GEE na cultura do café. Para esse trabalho o valor foi mínimo de apenas 4% do total de emissões, o que ressalta a complexidade desse tema e destaca a necessidade de abordagens personalizadas e estratégias de manejo eficazes para mitigar as emissões de GEE associadas à fertilização na produção de café.

#### 4.4.1.4 Consumo de energia elétrica

A cafeicultura moderna, como um setor crucial na economia agrícola global, apresenta uma notável dependência de energia elétrica para uma ampla gama de atividades, que vão desde a irrigação dos cafezais até o processamento pós-colheita dos grãos. Essa necessidade energética é um elemento fundamental para sustentar as operações e garantir a eficiência produtiva ao longo de todo o ciclo de cultivo do café.

Essa demanda por energia elétrica é particularmente relevante quando se considera o contexto das emissões de GEE. A Tabela 18 fornece uma análise detalhada da porcentagem do consumo de energia elétrica em relação às diversas fontes de emissão de GEE na produção de café, tanto nos estudos anteriores quanto nos resultados obtidos neste estudo específico. Essa comparação direta entre os dados coletados neste trabalho e os resultados de pesquisas anteriores permite uma avaliação mais precisa do impacto relativo do consumo de energia elétrica nas emissões totais de GEE associadas à cafeicultura.

Tabela 18 - Percentual de Emissões de GEE para o consumo de energia elétrica.

<b>ESTUDO</b>	<b>EMISSÃO DE GEE</b>
Estudo 1	23,4%
Estudo 2	6,7%
Estudo 3	16%
Estudo 4	1%
Pesquisa	10,5%

Fonte: Autor (2024).

Observa-se uma considerável variação nos percentuais de consumo de energia elétrica entre os estudos e a pesquisa, variando de 1% a 23.4%. Essa diversidade de valores reflete diferenças nas práticas agrícolas adotadas, nas tecnologias utilizadas, na eficiência energética dos equipamentos e em outras variáveis que influenciam diretamente o consumo de energia elétrica na cafeicultura.

Moreira *et al.* (2016) destacam que o índice de 23.4% representa um aumento de emissão durante o processo de colheita em comparação com a fase de beneficiamento do café, que engloba atividades como lavagem, secagem e processamento final. Por outro lado, o valor de 10.5% encontrado nesta pesquisa situa-se dentro da faixa média dos índices de emissão de GEE observados, indicando uma relativa conformidade com os padrões médios estabelecidos.

#### 4.4.2 Remoções de GEE

A Tabela 19 oferece uma análise comparativa detalhada da remoção de GEE na unidade produtiva em estudo em relação aos dados relatados nos estudos previamente examinados. É importante destacar que os Estudos 1, 2 e 3 focaram exclusivamente nas emissões de GEE, enquanto esta análise abrange tanto as emissões quanto a remoção desses gases, proporcionando uma visão abrangente do balanço de carbono na unidade produtiva. Essa comparação permite uma compreensão mais profunda do desempenho

ambiental da unidade estudada em relação às práticas e resultados identificados em pesquisas anteriores.

Tabela 19 - Comparações de remoções de GEE da unidade produtiva estudada (safra 2022/23) com estudos.

<b>FONTES DE REMOÇÃO</b>	Pesquisa (tCO <sub>2</sub> e ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	Estudo 4 (tCO <sub>2</sub> e ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	Referência
<b>SOLO E BIOMASSA</b>	-15,5	-12,2	Imaflora (2022)

Fonte: Autor (2024).

A remoção de GEE na unidade produtiva estudada, através do sequestro de carbono do solo e da biomassa, é estimada em -15,5 tCO<sub>2</sub>e ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. Em comparação, a literatura sugere uma remoção, de -12,2 tCO<sub>2</sub>e ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, ou seja, uma diferença positiva de 9,3%. Esse resultado destaca a importância do monitoramento cuidadoso da atividade agrícola da unidade produtiva analisada e confirma que sim ela está inerente às boas práticas.

#### 4.4.3 Balanço de emissão/remoção GEE

A Tabela 20 apresenta a comparação do balanço de emissão/remoção de gases de efeito estufa (GEE) na fazenda estudada em relação aos valores relatados na literatura.

Tabela 20 - Emissão/remoção de GEE observado inerente à literatura.

<b>UNIDADE DE ESTUDO</b>	Pesquisa (tCO <sub>2</sub> e ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	Estudo 4 (tCO <sub>2</sub> e ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )
<b>EMIÇÃO/REMOÇÃO DE GEE</b>	-12,4	-10,5

Fonte: Autor (2024).

O balanço de emissão/remoção de GEE de boas práticas de cultura de café demonstra uma redução significativa nas emissões de gases de efeito estufa. Para a unidade estudada, foi registrada uma diminuição de 12,4 tCO<sub>2</sub>e ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, indicando um impacto positivo. O balanço de GEE para boas práticas de cultura de café em geral revela uma redução ainda mais expressiva, atingindo uma diminuição de 10,5 tCO<sub>2</sub>e ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. Essa diferença mostra que a unidade produtiva estudada está em consonância com boas práticas e contribui para uma agricultura mais sustentável e de baixo carbono.

## 4.5 Análise

### 4.5.1 Pesquisa e média dos estudos

Comparar dados desempenha um papel crucial no processo de análise, pois possibilita a identificação de discrepâncias que podem ser exploradas em análises investigativas posteriores. Nesse contexto, a Tabela 21 apresenta uma comparação entre os dados das fontes de emissão coletados neste estudo e a média aritmética dos dados provenientes dessas mesmas fontes em estudos anteriores ou os Estudos.

Tabela 21 - Comparações da fonte de emissão da pesquisa e a média aritmética dos dados dos estudos.

<b>FONTES DE EMISSÃO</b>	<b>PESQUISA</b>	<b>MÉDIAS DOS ESTUDOS</b>
Combustível	22%	36,5%
Calcário	67%	27,6%
Fertilizantes	4%	57,8%
Energia Elétrica	10,5%	11,8%

Fonte: Autor (2024).

Observa-se que para o consumo de combustível houve uma diferença de 14,5% a menos na emissão. Na aplicação de calcário já houve um aumento de emissão com o indicativo de 39,4%. Para a aplicação de fertilizantes houve a redução de emissão com 53,8%. E por fim, uma diferença de 1,3% em relação a média para consumo de energia elétrica. Para os decréscimos há um total de 69,6% e para o acréscimos, o total de 39,4%. A diferença dos decréscimos e acréscimos 30,2% de menor emissão da média, ou seja, 43,4% a menos de emissão de GEE, inerentes à media aritmética de emissões de GEE.

### 4.5.2 Análise geral

Considerando a situação da fazenda é importante observar que, conforme o *GHG Protocol* para Florestas e Sistemas Agrícolas Sustentáveis, a biomassa continua a crescer até que a planta atinja seu pico de crescimento, que, no caso do café, é considerado em 15 anos.

Após o período estabelecido, todo o carbono capturado durante o crescimento das plantas é considerado como parte do estoque, cessando as remoções contínuas do sistema. Essa transição marca um ponto crítico no ciclo de vida das plantas e no equilíbrio do carbono

no ambiente. A modelagem meticulosa do balanço entre emissões e remoções revelou que os tratamentos T1 e T2 continuarão a demonstrar uma capacidade ativa de captura de carbono até o ano de 2030.

No entanto, a partir de 2033, os resultados indicam uma despontencialização das remoções decorrentes do aumento de biomassa (Tabela 22). Esse achado tem implicações profundas para o entendimento dos padrões de sequestro de carbono e para o planejamento de estratégias de mitigação de emissões de GEE estufa em sistemas de produção agrícola.

Tabela 22 - Final da remoção de carbono provenientes dos incrementos de biomassa.

<b>TALHÃO</b>	<b>IDADE (PLANTAS)</b>	<b>LIMITE DE REMOÇÃO</b>	<b>ANO</b>
T1 e T2	8 anos	7 anos	2030
T3 e T4	7 anos	8 anos	2031
T5	6 anos	9 anos	2032
T6, T7 e T8	5 anos	10 anos	2033

Fonte: Autor (2024).

Da mesma maneira, as remoções resultantes do aumento de carbono no solo também serão interrompidas em um determinado ponto, quando a quantidade de carbono atingir um equilíbrio. Na análise realizada foi considerado um período de 20 anos desde a alteração do uso da terra, conforme recomendado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Assim, a modelagem sugere que os solos dos talhões plantados nos anos de 2015, 2016, 2017 e 2018 continuarão a capturar carbono até os anos de 2035, 2036, 2037 e 2038, respectivamente.

De acordo com o Capítulo 2 há muitas formas que podem ser usadas para a aumento das fontes de remoção de carbono na plantação de café. Dentre elas estão boas práticas sustentáveis, reflorestamento ou plantios de árvores; uso de energia renovável; gestão eficiente de resíduos; certificações e créditos de carbono; investimento em tecnologias de baixa emissão de carbono.

Essas são apenas algumas das abordagens que podem ser implementadas para aumentar as fontes de remoção de carbono na produção de café. O ideal é adotar uma combinação dessas medidas, que não só reduza as emissões de gases de efeito estufa, mas também amplie o sequestro de carbono, agregando valor ao sistema produtivo.

## CAPÍTULO 5

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cálculo do balanço de emissões para a produção de café verde na safra de 2022/23 na unidade produtiva analisada revelou uma remoção total de  $-1.110,7 \text{ tCO}_2\text{e ano}^{-1}$ . Isso foi obtido levando-se em conta a área produtiva de 62,36 hectares, resultou em um balanço de  $-15,5 \text{ tCO}_2\text{e ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ . Esse cálculo incorporou as emissões provenientes da adubação nitrogenada, do combustível fóssil usado na mecanização, consumo de energia elétrica e da aplicação de calcário.

Geralmente, o uso do adubo nitrogenado é o principal fator que emite gases de GEE nas atividades cafeeira, entretanto, na unidade produtiva estudada, nota-se que a aplicação de calcário foi a mais significativa devido as característica específica do solo, das exigências nutricionais da cultura e das práticas agrícolas adotadas.

Adicionalmente, o café tem a capacidade de remover carbono adicional por meio da biomassa aérea das plantas, estimada em cerca de  $-475,6 \text{ tCO}_2\text{e ha}^{-1}$  ao longo de 15 anos, ou  $-7,6 \text{ tCO}_2\text{e ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ .

Considerando uma produção anual de até 4 mil sacas de café é viável calcular uma remoção de aproximadamente  $-0,4 \text{ tCO}_2\text{e sc}^{-1}\text{ano}^{-1}$  de café verde produzido nesse período, ou  $-7,6 \text{ kg CO}_2\text{e kg}^{-1}$  de café verde. Assim, de acordo com a metodologia do GHG *Protocol* para Florestas e SAF e o IPCC, pode-se inferir que, para a safra 2022/23, o café verde (não processado) exibiu um saldo de carbono negativo, com balanço de emissão/remoção em consonância com boas práticas e contribui para uma agricultura mais sustentável e de baixo carbono.

No entanto, é importante destacar que os cálculos não incluíram nenhum processo de beneficiamento ou processamento do grão, abordando apenas a produção do café verde.

Além disso, as fontes de remoção (biomassa da planta e solo) são limitadas, o que significa que, seguindo as mesmas práticas, o café deixará de ser neutro em carbono até o ano de 2033.

A implementação de práticas de manejo sustentável na lavoura é a principal estratégia para reduzir o uso de fertilizantes que emitem gases de efeito estufa, ao mesmo tempo em que aumenta a capacidade do solo de armazenar carbono. Quando o solo apresenta boa qualidade, especialmente em termos de nutrientes e umidade, e uma ampla diversidade de microorganismos, ele se torna um importante reservatório de carbono. Portanto, com base nos dados obtidos nesta análise inicial, estabelece-se um cenário inicial para definir metas e implementar ações de melhoria no manejo da produção e na saúde do solo circundante.

Para futuras iniciativas, a unidade produtiva está começando a explorar a energia fotovoltaica. Portanto, é crucial coletar dados e realizar novas análises sobre os impactos que essa medida terá no equilíbrio das emissões e remoções de gases de efeito estufa no sistema de produção de café.

## REFERÊNCIAS

ABIC – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ. **Café com qualidade e café certificado ABIC**. 2023. Disponível em: < <https://www.abic.com.br/certificacoes/> >. Acesso em: 02 de março de 2023.

ADRAPLAN. **Consultoria para a certificação**. 2023 Disponível em: <[https://www.andraplan.com.br/?gclid=Cj0KCQjw5f2lBhCkARIsAHeTvlj1y5MHb-K8mWLjcv93wBEplU0G51Qw42quWMHRezxekCcaOrnGqUaAhrzEALw\\_wcB#one](https://www.andraplan.com.br/?gclid=Cj0KCQjw5f2lBhCkARIsAHeTvlj1y5MHb-K8mWLjcv93wBEplU0G51Qw42quWMHRezxekCcaOrnGqUaAhrzEALw_wcB#one)>. Acesso em: 25 de julho de 2023.

ANDRADE, J. C. S., COSTA, P. **Mudança climática, protocolo de Quito e mercado de créditos de carbono: desafios à governança ambiental global**. Organizações & Sociedade, 15, p.29-45. 2008.

BRASIL - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. **Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Fator médio – Inventários corporativos**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao>. Acesso em: 15 mar. 2023.

BRASIL - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Brasil será COP8 em 2006**. Brasília: **Ministério do Meio Ambiente, 2004**. Disponível em: < <https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/brasil-sera-sede-da-cop8-em-2006>>. Acesso em: 23 fevereiro de 2023.

BRASIL - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Conferências das Partes**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2018. Disponível em: < <https://antigo.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/conferencia-das-partes.html>>. Acesso em: 23 fev. 2023.

BRITO, A. S.; GARCIA, G. A. F. **Emissão dos gases de efeito estufa pela agropecuária brasileira e os meios de mitigação adotadas pelo governo**. Cadernos de Agroecologia, v. 15, n. 2, 2020.

CANDIDO, A. O., CURTY A. S., MORAES, G. C. N., SILVA, B. S. A., SOUSA, G. S., MENDONÇA, E. S. **Estoque de carbono em cultivo de café conilon arborizado**. Anais da Semana Acadêmica do Curso de Agronomia do CCAE/UFES-SEAGRO, 2017.

CARLOS, S. M., VALENTE, F., PINTO, T. P., MUNHOZ, L., VARGAS, D., ASSAD, E. D. **Mercado voluntário de carbono: preservação ambiental com a intensificação da pecuária**. Observatório de Conhecimento e Inovação em Bioeconomia, Fundação Getúlio Vargas - FGV-EESP, São Paulo, SP, Brasil, 2022.

CARVALHAES, E. C. **Corretores de Café**. Santos-SP. Disponível em:< <https://www.carvalhaes.com.br/default.asp>>. Acesso em: 21 de abril de 2023.

CARVALHO, F. P., SOUZA, B. P., FRANÇA, A. C., FERREIRA, E. A., FRANCO, M., KASUYA, M. C. M., FERREIRA, F. A. **Glyphosate Drift Affects Arbuscular Mycorrhizal Association In Coffee. Planta Daninha**, 4(32), p.783-789. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-83582014000400013>. Acesso em: 29 de julho de 2023.

CARVALHO, F. S. **O impacto das mudanças climáticas na produção de café arábica nos municípios de Alfenas e Conceição do Rio Verde**. 2019. Tese (Doutorado). Fundação Getúlio Vargas, Escola de economia de São Paulo, p.159, 2019.

CECAFE - CONSELHO DOS EXPORTADORES DE CAFÉ DO BRASIL. São Paulo. Disponível em: <https://www.cecafe.com.br/conheca-o-cecafe/historico/>. Acesso em: 24 de abril de 2023.

CI, 2023. Centro de Inteligência Orgânicos. Disponível em: <<https://ciorganicos.com.br/>>. Acesso em: 25 de julho de 2023.

CLAUDINO, E. S., TALAMINI, E. **Análise do Ciclo de Vida (ACV) aplicada ao agronegócio – Uma revisão de literatura**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.17, n.1, p. 77-85, 2012.

CNC - Conselho Nacional do Café. Brasília. Disponível em: <<https://cncafe.com.br/historia/>>. Acesso em: 21 de abril de 2023.

CP – CONNECTED PAPERS. Disponível em:< <https://www.connectedpapers.com/>>. Acesso em: 22 de outubro de 2023.

CUNHA, M. **Conheça a história do Instituto Brasileiro do Café (IBC)**. 2018. Centro do Comércio de Café do Estado de Minas Gerais – CCCMG. Minas Gerais. Disponível em:<

<https://cccmg.com.br/conheca-a-historia-do-instituto-brasileiro-do-cafe-ibc/>>. Acesso em: 21 de abril de 2023.

CUSTODIO, K. **Mais que reduzir o desmatamento, é preciso diminuir o uso do fogo.** Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, 2024. Disponível em: <https://ipam.org.br/mais-que-reduzir-o-desmatamento-e-preciso-diminuir-o-uso-do-fogo/> . Acesso em: 22 de janeiro de 2024.

DIAS, A. A. C., ANDRADE-NETO, A. V., MILTAO, M. S. R. **A atmosfera terrestre: composição e estrutura.** Caderno de Física da UEFS, v. 5, n – 1 e 2, p.21 – 40, 2007.

DIAS, M. A. R., LANA, R.M.Q., SILVA, J.G.M., MARQUES, O.J., SILVA, A. A., LEMES, E.M., SILVA, D.M., ALVES, J.M.O. **Mineral and organomineral sources of nitrogen to maize agronomic performance.** Bioscience Journal, v. 36, n. 5, p.1528–1534, 2020.

DINATO, R. M. **Sistematização dos métodos de contabilização de emissões de gases de efeito estufa sob a ótica do ciclo de vida.** 2013, p.99. Dissertação – Escola Politécnica das Universidade de São Paulo, São Paulo.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Brasília. Disponível em:< <https://www.embrapa.br/cafe/historia>>. Acesso em: 21 de abril de 2023.

EPA – UNITED STATES ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY. **Climate Change Indicators: Atmospheric Concentrations of Greenhouse Gases.** EUA, 2022. Disponível em: <<https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-atmospheric-concentrations-greenhouse-gases>>. Acesso em: 30 out. 2023.

EXATA BRASIL. **Análise de Solo.** 2024. Disponível em: < <https://exatabrasil.com.br/>>. Acesso em: 24 de julho de 2024.

FAGUNDES, M., XAVIER, R. A., FARIA, M. L., LOPES, L. C. G., CUEVAS, P. R., JUNIOR, R. R. **Plant Phenological Asynchrony and Community Structure Of Gall-inducing Insects Associated With A Tropical Tree Species.** 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ece3.4477>. Acesso em: 30 de julho de 2023.

FREITAS, L. C. F., RENÓ, M. L. G., LORA, E. E. S. **Avaliação do ciclo de vida do café – análise comparativa e gestão de melhorias.** Brazilian Journal of Development, [S. l.], v. 7, n. 5, p.49010–49023, 2021. DOI: 10.34117/bjdv.v7i5.29850. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/29850>. Acesso em: 3 maio de 2023.

FROMM, I. **Building Resilient Value Chains After the Impact of the COVID-19 Disruption: Challenges for the Coffee Sector in Central America**. 2022. Disponível em: <<https://scite.ai/reports/10.3389/fsufs.2021.775716>>. Acesso em: 29 de julho de 2023.

FSB - FAZENDA SANTA BARBARA. **Site oficial**. Monte Carmelo, MG. Disponível em: <https://santabarbaracoffee.com.br/origem/>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2024.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOOGLE, INC. **Google Maps**. Disponível em: <https://www.google.com/maps/place/Fazenda+Santa+B%C3%A1rbara+Caf%C3%A9s+Especiais+do+Cerrado+Mineiro/@-18.7820663,-47.5566242,6571m/data=!3m1!1e3!4m15!1m8!3m7!1s0x94a5855eaccfe78b:0x88a7bd506e0eab12!2sFazenda+Santa+B%C3%A1rbara+Caf%C3%A9s+Especiais+do+Cerrado+Mineiro!8m2!3d-18.7868485!4d-47.5618463!10e5!16s%2Fg%2F11q2t30npz!3m5!1s0x94a5855eaccfe78b:0x88a7bd506e0eab12!8m2!3d-18.7868485!4d-47.5618463!16s%2Fg%2F11q2t30npz?hl=pt-BR&entry=ttu>. Acesso em: 25 de janeiro de 2024.

ICROP – TECNOLOGIA E CONSULTORIA AGRÍCOLA S/A. **Levantamento da densidade do solo**. 2024. Disponível em: <<https://icrop.com.br/icrop-projetos-icrop/#>>. Acesso em: 24 de julho de 2024.

IMAFLORA – PROJETO CAFÉ. **Estimativa das emissões e remissões de gases de efeito estufa do café brasileiro: a adicionalidade de carbono devido as boas práticas em fazenda de Minas Gerais, Brasil**. 2022. Disponível em: <[https://www.cecafe.com.br/site/wp-content/uploads/2022/05/cecafe\\_relatorio\\_imaflora\\_vf.pdf](https://www.cecafe.com.br/site/wp-content/uploads/2022/05/cecafe_relatorio_imaflora_vf.pdf)>. Acesso em: 18 de julho de 2023.

IMOCONTROL. **Certificadora IMO do Brasil**. 2023. Disponível em: <<https://imocontrol.com.br/>>. Acesso: em 25 de julho de 2023.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Agriculture, Forestry and Other Land Use**. 2019. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol4.html>. Acesso em 23 de julho de 2024.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **About us**. 2023. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/about/>>. Acesso em: 29 de julho de 2023.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Mudança do clima 2021: A base científica**. 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o->

[mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/IPCC\\_mudanca2.pdf](https://mcti.sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/IPCC_mudanca2.pdf)>. Acesso em: 24 de julho de 2024.

JUNIOR, G. G. O. **Inventário de emissão de gases de efeito estufa na cultura do cafeeiro**. Dissertação (Mestrado) – Programa de pós-graduação em Sistemas de Produção na Agropecuária. Universidade José do Rosário Vellano. Alfenas, MG. p.58, 2015.

JUNIOR, G. G. O., SILVA, A. B., LIMA, M. A., SILVA, J. C. T. R., FLORENTINO, L. A., APARECIDO, L. E. O. **Estimativa da emissão de CO2 equivalente em operações mecanizadas na cultura do cafeeiro**. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.17765/2176-9168.2020v13n1p301-316>>. Acesso em 25 de fevereiro de 2024.

JUNIOR, G. G. O., SILVA, A.B. LIMA, M.A., SILVA, J. C. T. R., FLORENTINO, L. A. APARECIDO, L. E. A. **Estimativa da emissão de CO2 equivalente em operações mecanizadas na cultura do cafeeiro**. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, v. 13, n. 1, p.301-316, 2020.

LEME, P. H. M. V., PINTO, C. L., **Qualidade e sustentabilidade: sistemas de certificação do café sob a ótica dos Pilares da Qualidade**. Revista Agroambiental, v.10, n.4, 2018.

LIMA, C. Z., ESTEVAM, C. G., PAVÃO, E.M., PINTO, T. P., ASSAD, E. D. **Potencial de mitigação de gases de efeito estufa das ações de descarbonização da produção de soja até 2030**. Observatório de Conhecimento e Inovação em Bioeconomia, Fundação Getúlio Vargas - FGV-EESP, São Paulo, SP, Brasil. 2022.

LIMA, C. Z., ESTEVAM, C. G., PAVÃO, E.M., PINTO, T. P., ASSAD, E. D. **Potencial de mitigação de gases de efeito estufa das ações de descarbonização da produção de soja até 2030**. Observatório de Conhecimento e Inovação em Bioeconomia, Fundação Getúlio Vargas - FGV-EESP, São Paulo, SP, Brasil. 2022.

MAIO, A. TÁVORA, P. **Novo padrão para café torrado entra em vigor e indústria já está se preparando. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2023**. Disponível em: < <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/novo-padrao-para-cafe-torrado-entra-em-vigor-e-industria-ja-esta-se-preparando>>. Acesso em: 08 de janeiro, 2023.

MARQUES, C. F. **Estratégia de gestão da produção e operações**, p.144. Curitiba – Paraná: IESDE Brasil, 2012.

MELO, V. S., SINFRÔNIO, F. S. M., **A importância dos inventários do programa GHG Protocol para a gestão de emissões ambientais**. 2018. Disponível em: <http://doi.org/10.6008/CBPC2237-9290.2018.002.0005>. Acesso em: 29 de julho de 2023.

MENDES, W. S., BOECHAT, C. L., GUALBERTO, A. V. S., BARBOSA, R. S., SILVA, Y. J. A. B., Saraiva, P. C., DUARTE, L. S. L. **Soil Spectral Library Of Piauí State Using Machine Learning For Laboratory Analysis In Northeastern Brazil**. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.36783/18069657rbc20200115>. Acesso em: 30 de julho de 2023.

MIN, L. **Grey correlation analysis of low-carbon governance in Yangtze River Delta Cities**. *Journal of Environmental and Public Health*, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2022/2029087>. Acesso em: 29 de julho de 2023.

MONZONI, M. **Contabilização, quantificação e publicação de inventários corporativos de emissões de gases de efeito estufa**. Centro de Estudos em Sustentabilidade (FGVces). Relatórios Técnicos [295], p.39, 2ª ed. São Paulo, 2008.

MORAIS, E. M., SILVA, A. A., SOUSA, F. W. A., AZEVEDO, I. M. C., SILVA, H. F., SANTOS, A. C., ARAÚJO, F. D. S. (2022). **Endophytic Trichoderma Strains Isolated from Forest Species Of the Cerrado-caatinga Ecotone Are Potential Biocontrol Agents Against Crop Pathogenic Fungi**. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0265824>. Acesso em: 30 de julho de 2023.

MOREIRA, C. S., ALVES, P. A., CASTIGIONI, B. A., RAUCCI, G.S., CERRI, D. G. P., CERRI, C. E. P., CERRI, C.C., TEIXEIRA, A. A., D'ALESSANDRO, C. S., CANDIANO, C. REIS, M., CELI, G. **Gases do efeito estufa avaliação da produção café verde brasileiro: um estudo de caso do estado de Minas Gerais**. 2016. Disponível em: <http://hdl.handle.net/123456789/9795>. Acesso em 25 de fevereiro de 2024.

MUNHOZ, L., VARGAS, D. **Adicionalidade de serviços ambientais na perspectiva jurídica: o pagamento por serviços ambientais em áreas legalmente protegidas**. Observatório de Conhecimento e Inovação em Bioeconomia, Fundação Getúlio Vargas - FGV-EESP, São Paulo, SP, Brasil, 2022.

NEGASH, M., Starr, M., Kanninen, M., Berhe, L., GOCHT, P. (2013). **Allometric equations for estimating aboveground biomass of Coffea arabica L. grown in the Rift Valley escarpment of Ethiopia**. *Agroforestry systems*, 87(4), 953-966. Disponível em: [doi:10.1007/s10457-013-9611-3](https://doi.org/10.1007/s10457-013-9611-3). Acesso em: 25 de janeiro de 2024.

NESPRESSO. **Sustentabilidade no campo e nespresso**. 2023. Disponível em: [https://www.nespresso.com/br/pt/sustentabilidade/manejo-cafe/programa-aaa?gclid=Cj0KCQjw5f2IBhCkARIsAHeTvliZtLBJl0TgaeGs-8rUuJXMIwJrElkx7uKv2CisoUKe1\\_5STIDMbcEaAtPvEALw\\_wcB&gclsrc=aw.ds](https://www.nespresso.com/br/pt/sustentabilidade/manejo-cafe/programa-aaa?gclid=Cj0KCQjw5f2IBhCkARIsAHeTvliZtLBJl0TgaeGs-8rUuJXMIwJrElkx7uKv2CisoUKe1_5STIDMbcEaAtPvEALw_wcB&gclsrc=aw.ds). Acesso em: 25 de julho de 2023.

NEUENFELDT, S., GOCHT, A., HECKELEI, T., MITTENZWEI, K., CIAIAN, P. **Using Aggregated Farm Location Information to Predict Regional Structural Change of Farm Specialisation, Size and Exit/Entry in Norway Agriculture.** *Agriculture*, 11(7), 643. 2021. <https://doi.org/10.3390/agriculture11070643>. Acesso em: 29 de julho de 2023.

NITTHIKAN, N., PIMPORN L. SURAPOL, N., WANTIDA, C., MONIKA M., HELMUT, V., KANOKWAN, K. **Improvement of Stability and Transdermal Delivery of Bioactive Compounds in Green Robusta Coffee Beans Extract Loaded Nanostructured Lipid Carriers.** *Journal of Nanotechnology*, 2018, p.1-12. Disponível em: <<https://doi.org/10.1155/2018/7865024>>. Acesso em: 29 de julho de 2023.

OC – OBSERVATÓRIO DO CLIMA. 2023. Disponível em: < <https://www.oc.eco.br/quem-somos/nossa-historia/>>. Acesso em 31 de julho de 2013.

OCIAINTERNATIONAL. **About us.** 2023. Disponível em: <<https://ocia.org/about-2/>>. Acesso em: 25 de julho de 2023.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **A ONU e o Meio Ambiente. Site da Nações Unidas Brasil, 2022.** Disponível em: < <https://brasil.un.org/pt-br/91223-onu-e-o-meio-ambiente>>. Acesso em: 24 fevereiro de 2023.

ORGANIS. Disponível em: [https://organis.org.br/sobre/?gclid=Cj0KCQjw5f2IBhCkARIsAHeTvlgQBAtvICArx0VlIXK9M9RKvwF2fQWhu9\\_hgaaDCH5jftsw2PtsQDUaAoFAEALw\\_wcB](https://organis.org.br/sobre/?gclid=Cj0KCQjw5f2IBhCkARIsAHeTvlgQBAtvICArx0VlIXK9M9RKvwF2fQWhu9_hgaaDCH5jftsw2PtsQDUaAoFAEALw_wcB). Acesso em: 25 de julho de 2023.

PASETO, L. PATINO, M. T. O. **Gestão da produção como fator condicionante da competitividade do café no cerrado mineiro.** *Energia na Agricultura*, v. 35, n.4, p.605-615, 2021.

PEREIRA, M. M. O., ANTUNES, L. G. R., BOSSLE, M. B, CALEGÁRIO, C. L. L., ANTONIALLI, L. M. **Eco inovação e internacionalização: evidências na cafeicultura da região do cerrado mineiro.** *Revista de Negócios: Studies on emerging countries*, v.23, n.4, p.70-90, 2019.

PESSÔA, M., SPÍNOLA, M. **Introdução à automação: para cursos de engenharia e gestão**, p.333. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

PINHO, A. C. A. **Emissão de gases com efeito de estufa na distribuição do gás natural.** 2019, p.90. Dissertação – Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, Portugal.

PINHO, L. G. R., BINTECOURT, L. L., SOUZA, G. S., LEAL, E. A. S., LINO, L. S., ALVES, A. G., SOUZA, W. L., MARTINS, L. R., ELIAS, J. **Mudanças climáticas e a produção de café conilon na microrregião centro-oeste do estado do Espírito Santo**. 2021. Disponível em: DOI: <https://doi.org/10.36524/ric.v7i1.1204>. Acesso em: 23 de junho de 2024.

PINTO, T. S. **Raízes do café no Brasil**. 2023. Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/historia/o-cafe-no-brasil-suas-origens.htm>>. Acesso em 24 de abril de 2023.

SANTOS, M. O., COELHO, L. S., CARVALHO, G. R., BOTELHO, C. E., TORRES, L. F., VILELA, D. J. M., SILVA, V. A. **Photochemical efficiency correlated with candidate gene expression promote coffee drought tolerance**. Scientific reports. 2021.

SARVINA, Y., JUNE, T., SUTJAHJO, S. H., NURMALINA, R., SURMAINI, E. **Climatic Suitability for Robusta Coffee in West Lampung Under Climate Change**. 2022. Disponível em: <<https://scite.ai/reports/10.1088/1755-1315/950/1/012019>>. Acesso em 29 de julho de 2023.

SEBRAE – SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICROS E PEQUENAS EMPRESAS. **O que é Fair Trade: comércio justo**. 2023. Disponível em: <<https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-que-e-fair-trade-comercio-justo,82d8d1eb00ad2410VgnVCM100000b272010aRCRD>>. Acesso em: 25 de julho de 2023.

SEEG - SISTEMAS DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. **Análise das emissões brasileiras e gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil**. 2023. Disponível em: <<https://seeg.eco.br/category/relatorios-analiticos/>>. Acesso em 31 de julho de 2023.

SEEG – SISTEMAS DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. **Setor de mudanças de uso da terra e florestas**. 2021. Disponível em: <[https://seeg-br.s3.amazonaws.com/Notas%20Metodologicas/SEEG\\_9%20%282021%29/Nota\\_Metodologica\\_SEEG\\_9\\_MUT\\_v3.docx.pdf](https://seeg-br.s3.amazonaws.com/Notas%20Metodologicas/SEEG_9%20%282021%29/Nota_Metodologica_SEEG_9_MUT_v3.docx.pdf)>. Acesso em 31 de janeiro de 2024.

SILVA, S. **Expansão cafeeira e origem da indústria no Brasil**. São Paulo, Alfa-Ômega, p.114, 1976.

SINDCAFE - Sindicato da Industria de Café do Estado de São Paulo. São Paulo. Disponível em:<<https://www.sindicafesp.com.br/>>. Acesso em: 21 de abril de 2023.

SOARES, M. A. **Desafios para a implementação da agenda 2030 na Amazônia.** 2022, p.21. Monografia – Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de Estudos Sociais, Departamento de Economia e Análise. Manaus.

Souza, L. T. **Nutrient Demand for vegetation and fruiting of Coffea arabica L.** Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. p 33. 2018

SOUZA, P. V. C., OLIVEIRA, L. N., NASCIMENTO, L. C. (2019). **Fuzzy Rules To Help Predict Rains and Temperatures In A Brazilian Capital State Based On Data Collected From Satellites.** *Applied Sciences.* 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app9245476>. Acesso em: 30 de julho de 2023.

USDORGANIC. **United States Department of Agriculture.** 2023. Disponível em: <https://www.usda.gov/topics/organic>. Acesso em: 25 de julho de 2023.

VARGAS, D. B. **Preparativos para o COP26 em Glasgow: o artigo 6 do acordo de Paris e o mercado de carbono.** Observatório de Conhecimento e Inovação em Bioeconomia, Fundação Getúlio Vargas - FGV-EESP, São Paulo, SP, Brasil. 2022.

VASQUES, G. de M.; DART, R. de O.; BACA, J. F. M.; CEDDIA, M. B.; MENDONÇA SANTOS, M. de L. Mapa de estoque de carbono orgânico do solo (COS) a 0-30 cm do Brasil. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017.

WORLD RESOURCES INSTITUTE (WRI). **Greenhouse Gas Protocol Calculation Tool for Forestry in Brazil.** 2020.

WRIBRASIL. **Metodologia do GHG Protocol da agricultura.** São Paulo: Unicamp. p.59, 2015.

ZAPPAROLI, I. D., CÂMARA, M. R. G., FERRACIOLI, J., ESTEVES, E. G. Z., Monteiro, D. C. **Sistema de produção de café tradicional no estado do Paraná-Brasil: análise de indicadores de custos, produtividade, renda e créditos de carbono.** Economia e Desenvolvimento, 2012.

## ANEXOS

### ANEXO A – Fatores de emissão médio e anuais entre 2006 à 2009

Fator Médio Mensal (tCO <sub>2</sub> /MWh)													Fator Médio Anual (tCO <sub>2</sub> /MWh)
2006	MÊS												ANO - 2006
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	0,0323
	0,0322	0,0346	0,0337	0,0275	0,0317	0,0306	0,0351	0,0336	0,0383	0,0360	0,0265	0,0280	
2007	MÊS												ANO - 2007
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	0,0293
	0,0229	0,0195	0,0195	0,0197	0,0161	0,0256	0,0310	0,0324	0,0355	0,0377	0,0406	0,0496	
2008	MÊS												ANO - 2008
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	0,0484
	0,0584	0,0668	0,0599	0,0453	0,0459	0,0521	0,0437	0,0425	0,0411	0,0438	0,0334	0,0477	
2009	MÊS												ANO - 2009
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	0,0246
	0,0281	0,0237	0,0247	0,0245	0,0405	0,0369	0,0241	0,0199	0,0162	0,0179	0,0181	0,0194	

Fonte: Brasil (2022, p. 10).

### ANEXO B – Fatores de emissão médio e anuais entre 2010 à 2013

Fator Médio Mensal (tCO <sub>2</sub> /MWh)													Fator Médio Anual (tCO <sub>2</sub> /MWh)
2010	MÊS												ANO - 2010
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	0,0512
	0,0211	0,0280	0,0243	0,0238	0,0341	0,0506	0,0435	0,0774	0,0907	0,0817	0,0869	0,0532	
2011	MÊS												ANO - 2011
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	0,0292
	0,0262	0,0288	0,0208	0,0198	0,0270	0,0341	0,0308	0,0301	0,0273	0,0350	0,0356	0,0349	
2012	MÊS												ANO - 2012
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	0,0653
	0,0294	0,0322	0,0405	0,0642	0,0620	0,0522	0,0394	0,0460	0,0783	0,0984	0,1247	0,1168	
2013	MÊS												ANO - 2013
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	0,0960
	0,1151	0,1090	0,0981	0,0959	0,1151	0,1079	0,0838	0,0833	0,0840	0,0831	0,0930	0,0841	

Fonte: Brasil (2022, p. 10).

## ANEXO C – Fatores de emissão médio e anuais entre 2014 à 2017

Fator Médio Mensal (tCO2/MWh)													Fator Médio Anual (tCO2/MWh)
2014	MÊS												ANO - 2014
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	
	0,0911	0,1169	0,1238	0,1310	0,1422	0,1440	0,1464	0,1578	0,1431	0,1413	0,1514	0,1368	0,1355
Fator Médio Mensal (tCO2/MWh)													Fator Médio Anual (tCO2/MWh)
2015	MÊS												ANO - 2015
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	
	0,1275	0,1321	0,1369	0,1301	0,1258	0,1406	0,1221	0,1183	0,1217	0,1180	0,1127	0,1075	0,1244
Fator Médio Mensal (tCO2/MWh)													Fator Médio Anual (tCO2/MWh)
2016	MÊS												ANO - 2016
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	
	0,0960	0,0815	0,0710	0,0757	0,0701	0,0760	0,0725	0,0836	0,0897	0,0925	0,1002	0,0714	0,0817
Fator Médio Mensal (tCO2/MWh)													Fator Médio Anual (tCO2/MWh)
2017	MÊS												ANO - 2017
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	
	0,0566	0,0536	0,0696	0,0815	0,0847	0,0676	0,0965	0,1312	0,1264	0,1366	0,1193	0,0892	0,0927

Fonte: Brasil (2022, p. 42).

## ANEXO D – Fatores de emissão médio e anuais entre 2018 à 2022

Fator Médio Mensal (tCO2/MWh)													Fator Médio Anual (tCO2/MWh)
2018	MÊS												ANO - 2018
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	
	0,0640	0,0608	0,0635	0,0523	0,0607	0,0915	0,1076	0,1181	0,1182	0,0802	0,0366	0,0343	0,0740
Fator Médio Mensal (tCO2/MWh)													Fator Médio Anual (tCO2/MWh)
2019	MÊS												ANO - 2019
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	
	0,0355	0,0667	0,0530	0,0514	0,0482	0,0426	0,0906	0,1070	0,1024	0,1040	0,1078	0,0913	0,0750
Fator Médio Mensal (tCO2/MWh)													Fator Médio Anual (tCO2/MWh)
2020	MÊS												ANO - 2020
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	
	0,0916	0,0558	0,0384	0,0296	0,0358	0,0491	0,0400	0,0414	0,0329	0,0961	0,1191	0,1109	0,0617
Fator Médio Mensal (tCO2/MWh)													Fator Médio Anual (tCO2/MWh)
2021	MÊS												ANO - 2021
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	
	0,1164	0,0820	0,0673	0,0764	0,0883	0,1491	0,1634	0,1743	0,1699	0,1786	0,1484	0,1029	0,1264
Fator Médio Mensal (tCO2/MWh)													Fator Médio Anual (tCO2/MWh)
2022	MÊS												ANO - 2022
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	
	0,0732	0,0503	0,0406	0,0216	0,0280	0,0441	0,0419	0,0457	0,0491	0,0471	0,0402	0,0294	0,0430

Fonte: Brasil (2022, p. 42).

## ANEXO E – Fatores de emissão de GEE

FATOR DE EMISSÃO	UNIDADE	GASES DE EFEITO ESTUFA					REFERÊNCIAS
		CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> bio	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	
<b>FATORES DE EMISSÃO DIRETA</b>							
FE <sub>ADUBO.NITROGENADO</sub>	Kg N-N <sub>2</sub> O k <sup>-1</sup> N					0,01	IPCC,2019
FE <sub>UREIA</sub>	Kg C-CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> UR			0,20		0,08	IPCC,2019
FE <sub>CALCITICO</sub>	Kg C-CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> CA			0,12			IPCC,2006
FE <sub>DOLOMITICO</sub>	Kg C-CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> DL			0,13			IPCC,2006
FE <sub>DIESEL.MOV</sub>	Kg GEE L <sup>-1</sup>			2,603	0,0001	0,00014	GHG P. Brasil
FE <sub>DIESEL.EST</sub>	Kg GEE L <sup>-1</sup>			2,6	0,00036	0,000021	GHG P. Brasil
FE <sub>BIODIESEL.MOV</sub>	Kg GEE L <sup>-1</sup>		2,431		0,0003	0,000020	GHG P. Brasil
FE <sub>BIODIESEL.EST</sub>	Kg GEE L <sup>-1</sup>		2,5		0,00033	0,000020	GHG P. Brasil
FE <sub>ETANOL.MOV</sub>	Kg GEE L <sup>-1</sup>		1,457		0,0004	0,00001	GHG P. Brasil
FE <sub>ETANOL.EST</sub>	Kg GEE L <sup>-1</sup>		1,5		0,00021	0,000013	GHG P. Brasil
FE <sub>HERBICIDA</sub>	g CO <sub>2</sub> e kg <sup>-1</sup> 1	18,08					Ecoinvent V.3.1
FE <sub>FUNGICIDA</sub>	g CO <sub>2</sub> e kg <sup>-1</sup> 1	18,98					Ecoinvent V.3.1
FE <sub>PESTICIDA</sub>	g CO <sub>2</sub> e kg <sup>-1</sup> 1	17,24					Ecoinvent V.3.1

Fonte: Adaptado de Imaflora (2022).

## ANEXO F – Fatores de Conversão de GEE

FATOR DE CONVERSÃO	UNIDADE	VALOR	REFERÊNCIA
Fra <sub>CGASF</sub>	Kg NH <sub>3</sub> -N e NO <sub>x</sub> Kg <sup>-1</sup> N aplicado	0,11	IPCC, 2019
Fra <sub>CGASM</sub>	Kg NH <sub>3</sub> -N e NO <sub>x</sub> Kg <sup>-1</sup> N aplicado	0,21	IPCC, 2019
Fra <sub>CLI</sub>	Kg N lixiviado kg <sup>-1</sup> adicionado	0,24	IPCC, 2019

Fonte: Adaptado de Imaflora (2022).

## ANEXO G – Levantamento da densidade do solo.

 <b>LEVANTAMENTO DA DENSIDADE DO SOLO - CAFÉ</b>												
PROJETO 01 - SANTA BÁRBARA MONCERRADO												
Data	Identificação	Local	Amostra cm	P. Umido	P. Seco	P. Lata	D do anel	Altura (h) anel	Área do anel	CC	PM	Da(g/cm³)
07/02/2024	R1 ST 01	Santa Bárbara MonCerrado	0-20	95	74	5	4,9	3	56,57222971	30,43	18,26	1,220
07/02/2024	R1 ST 01	Santa Bárbara MonCerrado	20-40	89	70	5	4,9	3	56,57222971	29,23	17,54	1,149
07/02/2024	R1 ST 02	Santa Bárbara MonCerrado	0-20	95	76	5	4,9	3	56,57222971	26,76	16,06	1,265
07/02/2024	R1 ST 02	Santa Bárbara MonCerrado	20-40	110	88	5	4,9	3	56,57222971	26,51	15,90	1,467
07/02/2024	R1 ST 03	Santa Bárbara MonCerrado	0-20	95	73	5	4,9	3	56,57222971	32,35	19,41	1,202
07/02/2024	R1 ST 03	Santa Bárbara MonCerrado	20-40	98	76	5	4,9	3	56,57222971	30,99	18,59	1,255
07/02/2024	R1 ST 07	Santa Bárbara MonCerrado	0-20	102	82	5	4,9	3	56,57222971	25,97	15,58	1,361
07/02/2024	R1 ST 07	Santa Bárbara MonCerrado	20-40	103	83	5	4,9	3	56,57222971	25,64	15,38	1,379
07/02/2024	R1 ST 08	Santa Bárbara MonCerrado	0-20	97	79	5	4,9	3	56,57222971	24,32	14,59	1,308
07/02/2024	R1 ST 08	Santa Bárbara MonCerrado	20-40	103	83	5	4,9	3	56,57222971	25,64	15,38	1,379

Fonte: ICROP (2024).

## ANEXO H – Relatório de ensaio – Solo.



Hoff &amp; Brait Ltda.

Rua Silvestre de Carvalho Lopes nº 173 - Jardim Rio Claro CEP 75802-005 - Jataí - GO

Fone: (64) 3631-7774

www.exatabrasil.com.br

<b>Cliente:</b> GEOTECH	<b>Solicitante:</b> JOÃO NOR SERVIÇOS AGRONÔMICOS
<b>Endereço:</b> RUA MARIANA, 530 - RESIDENCIAL LEBLON - Catalão - GO	<b>Convênio:</b> SGS UNIGEO
<b>Proprietário:</b> RAFAEL TOMÁS	<b>Relatório N°:</b> 8121/2023
<b>Propriedade:</b> SANTA BÁRBARA	<b>Entrada:</b> 26/06/2023
<b>Município:</b> Catalão - GO	<b>Realização do ensaio:</b> 26/06/2023 a 03/07/2023

## Relatório de Ensaio - Solo

Cod. Lab.	Descrição Amostra	Profund.	Talhão	pH			mmolc . dm <sup>-3</sup>					mg . dm <sup>-3</sup> (ppm)				
				SMP	CaCl <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Ca+Mg	Ca	Mg	Al	H + Al	K	K	P(mel)	P(res)	P(rem)
223900	Th. Topázio Velho	0-20		6,5	5,3	ns	50,50	34,60	15,90	0,00	35,0	4,60	178	ns	14,8	ns
223901	Th. Topázio Velho	20-40		6,4	5,2	ns	48,20	34,30	13,90	1,10	39,0	4,30	170	ns	30,5	ns
223902	Th. Topázio Novo	0-20		6,4	5,1	ns	39,30	32,90	6,40	1,20	38,0	3,70	143	ns	56,7	ns
223903	Th. Topázio Novo	20-40		6,3	4,8	ns	30,60	25,50	5,10	1,10	44,0	3,70	146	ns	33,9	ns
223904	Th. Mundo Novo 2018	0-20		6,2	4,8	ns	37,20	30,20	7,00	1,40	47,0	2,80	109	ns	46,3	ns
223905	Th. Mundo Novo 2018	20-40		6,1	4,6	ns	23,30	18,70	4,60	1,80	52,0	2,70	107	ns	31,4	ns
223906	Th. Mundo Novo 2015	0-20		6,6	5,6	ns	66,70	46,40	20,30	0,00	29,0	5,20	205	ns	35,3	ns
223907	Th. Mundo Novo 2015	20-40		6,4	5,3	ns	49,60	34,80	14,80	0,00	39,0	3,20	126	ns	36,0	ns

Fonte: EXATA (2024).

## ANEXO I - Relatório de ensaio – Solo.

Cod. Lab.	Descrição Amostra	Profund.	Talhão	mg . dm <sup>-3</sup> (ppm)		micronutrientes mg . dm <sup>-3</sup> (ppm) DTPA					Textura (g . dm <sup>-3</sup> )		
				S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na	Argila	Silte	Areia
223900	Th. Topázio Velho	0-20		18,5	0,92	3,2	23	14,2	1,6	ns	ns	ns	ns
223901	Th. Topázio Velho	20-40		41,0	1,24	3,8	18	11,4	1,9	ns	ns	ns	ns
223902	Th. Topázio Novo	0-20		59,4	1,57	3,7	14	3,3	2,9	ns	ns	ns	ns
223903	Th. Topázio Novo	20-40		75,9	1,47	2,5	14	3,3	1,5	ns	ns	ns	ns
223904	Th. Mundo Novo 2018	0-20		60,2	1,03	2,3	17	2,1	2,7	ns	ns	ns	ns
223905	Th. Mundo Novo 2018	20-40		70,2	1,34	2,2	15	2,9	1,5	ns	ns	ns	ns
223906	Th. Mundo Novo 2015	0-20		18,9	0,66	3,7	20	2,8	3,2	ns	ns	ns	ns
223907	Th. Mundo Novo 2015	20-40		25,0	0,59	3,3	22	2,8	2,7	ns	ns	ns	ns

Fonte: EXATA (2024).

## ANEXO J - Relatório de ensaio – Solo.

Cod. Lab.	Descrição Amostra	Profund.	Talhão	g . dm <sup>-3</sup>		mmolc.dm <sup>-3</sup>		%					Relação entre bases:			
				M.O.	C.O.	T	t	V	SaL	Al	Ca/CTC	Mg/CTC	K/CTC	H+Al/CTC	Ca/Mg	Ca/K
223900	Th. Topázio Velho	0-20		28,6	16,6	90,0	5,5	61,2	0,0	38,4	17,7	5,1	38,9	2,2	7,5	3,5
223901	Th. Topázio Velho	20-40		27,2	15,8	91,0	5,4	57,7	2,1	37,7	15,3	4,7	42,9	2,5	8,0	3,2
223902	Th. Topázio Novo	0-20		23,1	13,4	81,0	4,4	53,1	2,7	40,6	7,9	4,6	46,9	5,1	8,9	1,7
223903	Th. Topázio Novo	20-40		20,9	12,1	78,0	3,5	44,0	3,1	32,7	6,5	4,7	56,4	5,0	6,9	1,4
223904	Th. Mundo Novo 2018	0-20		23,5	13,6	87,0	4,1	46,0	3,4	34,7	8,0	3,2	54,0	4,3	10,8	2,5
223905	Th. Mundo Novo 2018	20-40		18,7	10,8	78,0	2,8	33,3	6,5	24,0	5,9	3,5	66,7	4,1	6,9	1,7
223906	Th. Mundo Novo 2015	0-20		30,0	17,4	101,0	7,2	71,2	0,0	45,9	20,1	5,1	28,7	2,3	8,9	3,9
223907	Th. Mundo Novo 2015	20-40		26,8	15,5	92,0	5,3	57,4	0,0	37,8	16,1	3,5	42,4	2,4	10,9	4,6

Fonte: EXATA (2024).

## ANEXO K - Levantamento de dados para cálculo da Biomassa.

Responsável: Vanessa Mendes Barbosa Data: 15/12/23  
Local: Talhão 2015 Início da atividade (horário): 14:47 Fim da atividade (horário): 15:12

N Talhão	Idade	N individuo	CAC* (cm)	Altura total (m)	GPS	Observação
2015	8 meses	01	8,7	3,40 m		
2015	8 meses	02	11,2	3,45		
2015	8 meses	03	11,30m	3,54		
2015	8 meses	04	11,1	3,91		
2015	8 meses	05	11em	3,71		
2015	8 meses	06	11,50m	3,80		
2015	8 meses	07	10,9	3,63		
2015	8 meses	08	11,20m	3,79		
2015	8 meses	09	11,5	3,54		
2015	8 meses	10	10,0m	3,60		

\*Obs: CAC = Circunferência a altura do colo

Fonte: Coleta Local (2023).

ANEXO L - Relatório de ensaio – Solo.

Referências

Densidade (g/cm<sup>3</sup>) = POP-MET-119 | Referência: FAO, 2019. Measuring and modeling soil carbon stocks and stock changes in livestock production systems: Guidelines for assessment (Version 1)

Estanho (mg/kg) = POP-MET-049 | Referência: US-EPA-3051a

Carbono Orgânico (%) = POP-MET-115 | Referência: FAO, 2019 - Standard operating procedure for soil total carbon | L.Q.: 0,01%

Titânio (mg/kg) = POP-MET-049 | Referência: US EPA 3051A

pH (CaCl<sub>2</sub>) = POP-MET-010 | Referência: Raji et. al. - IAC, 2001 | L.Q.: Faixa de 4 a 7

Ca (cmolc/dm<sup>3</sup>) = POP-MET-004 - ICP-OES | Referência: Raji et. al. - IAC - 2001 - NH<sub>4</sub>Cl 1M | L.Q.: 0,02 cmolc/dm<sup>3</sup>

P rem (mg/dm<sup>3</sup>) = POP-MET-009 | Referência: Alvarez et. al., 2000.

Mg (cmolc/dm<sup>3</sup>) = POP-MET-004 - ICP-OES | Referência: Raji et. al., IAC - 2001 - NH<sub>4</sub>Cl 1M | L.Q.: 0,01 cmolc/dm<sup>3</sup>

Al (cmolc/dm<sup>3</sup>) = POP-MET-004 - ICP-OES | Referência: Raji et. al., IAC - 2001 - NH<sub>4</sub>Cl 1M | L.Q.: 0,02 cmolc/dm<sup>3</sup>

H+Al (cmolc/dm<sup>3</sup>) = POP-MET-010 | Referência: Raji et. al., IAC, 2001 - pH SMP | L.Q.: Faixa de 0,6 a 79,0 cmolc/dm<sup>3</sup>

Na (mg/dm<sup>3</sup>) = POP-MET-003 - ICP-OES | Referência: EMBRAPA, 2009 - Mehlich 1 | L.Q.: 1,0 mg/dm<sup>3</sup>

K (mg/dm<sup>3</sup>) = POP-MET-003 - ICP-OES | Referência: EMBRAPA, 2009 - Mehlich 1 | L.Q.: 1,2 mg/dm<sup>3</sup>

K (cmolc/dm<sup>3</sup>) = POP-MET-003 - ICP-OES | Referência: EMBRAPA, 2009 - Mehlich 1 | L.Q.: 0,004 cmolc/dm<sup>3</sup>

P mel (mg/dm<sup>3</sup>) = POP-MET-003 - ICP-OES | Referência: EMBRAPA, 2009 - Mehlich 1 | L.Q.: 1,3 mg/dm<sup>3</sup>

P res (mg/dm<sup>3</sup>) = POP-MET-008 | Referência: IAC, 2001 | L.Q.: 1,51 mg/dm<sup>3</sup>

S (mg/dm<sup>3</sup>) = POP-MET-005 - ICP-OES | Referência: Vitti, G. C., 1989 - Acetano de Amônio + Ácido Acético | L.Q.: 0,75 mg/dm<sup>3</sup>

M.O. (g/dm<sup>3</sup>) = POP-MET-007 | Referência: Raji et. al., IAC, 2001 - Método Colorimétrico | L.Q.: 1,46 g/dm<sup>3</sup>

Argila (g/dm<sup>3</sup>) = POP-MET-027 | Referência: EMBRAPA, 2009 - Densímetro

Silte (g/dm<sup>3</sup>) = POP-MET-027 | Referência: EMBRAPA, 2009 - Densímetro

Areia (g/dm<sup>3</sup>) = POP-MET-027 | Referência: EMBRAPA, 2009 - Densímetro

B (mg/dm<sup>3</sup>) = POP-MET-003 - ICP-OES | Referência: Comparison of Mehlich-1 and Mehlich-3 Extractable Soil Boron With Hot-Water Extractable Boron. Shuman et al., 1992. Mehlich 1 correto

Cu (DTPA) mg/dm<sup>3</sup> = POP-MET-087 | Referência: Raji et. al., IAC - 2001 | L.Q.: 0,19 mg/dm<sup>3</sup>

Fe (DTPA) mg/dm<sup>3</sup> = POP-MET-087 | Referência: Raji et. al., IAC - 2001 - NH<sub>4</sub>Cl 1M | L.Q.: 0,11 mg/dm<sup>3</sup>

Mn (DTPA) mg/dm<sup>3</sup> = POP-MET-087 | Referência: Raji et. al., IAC - 2001 - NH<sub>4</sub>Cl 1M | L.Q.: 0,38 mg/dm<sup>3</sup>

Zn (DTPA) mg/dm<sup>3</sup> = POP-MET-087 | Referência: Raji et. al., IAC - 2001 - NH<sub>4</sub>Cl 1M | L.Q.: 0,45 mg/dm<sup>3</sup>

N (total %) = POP-MET-001 | Referência: SM - 4500 NC (Kjeldahl); DUMAS | L.Q.: 1,0 mg/kg

Carbono Total (%) = POP-MET-115-00 | Referência: FAO, 2019 - Standard operating procedure for soil total carbon

N (mg/kg NO<sub>3</sub>) = POP-MET-047 | Referência: IAC, 2001 - KCl 1N

N (mg/kg NH<sub>4</sub>) = POP-MET-047 | Referência: IAC, 2001 - KCl 1N

Alumínio Total (mg/kg) = POP-MET-049 | Referência: US-EPA-3051a | L.Q.: 27,30 mg/kg

Cobre Total (mg/kg) = POP-MET-049 - ICP-OES | Referência: US-EPA-3051 | L.Q.: 1,57 mg/kg

Cálcio Total (mg/kg) = POP-MET-049 | Referência: US-EPA-3051a | L.Q.: 0,5 mg/kg

Magnésio Total (mg/kg) = POP-MET-049 | Referência: US-EPA-3051a | L.Q.: 0,2 mg/kg

Ferro Total (mg/kg) = POP-MET-049 - ICP-OES | Referência: US-EPA-3051 | L.Q.: 22,35 mg/kg

Manganês Total (mg/kg) = POP-MET-049 - ICP-OES | Referência: US-EPA-3051 | L.Q.: 0,38 mg/kg



Observações

O Laboratório se responsabiliza pelos resultados informados no relatório.  
ns: não solicitado.  
<L.Q. - Resultado menor do que o Limite de Quantificação do Método.  
\*. Incerteza de medição (Quando requerida).  
O laboratório não responsabiliza pela amostragem e por amostras previamente preparadas pelo Cliente.  
Os resultados referem-se somente a amostra ensaiada, conforme recebido pelo cliente.  
Este relatório de análise somente deve ser reproduzido por completo.  
O Laboratório não garante a integridade de resultados emitidos em planilhas eletrônicas, verificar o laudo em PDF.  
Após 40 dias todas as amostras serão descartadas.  
A descrição da amostra é responsabilidade do Cliente/Solicitante.

Marny A. Hoff Brait

Eng. Agr. Marny A. Hoff Brait  
Responsável Técnico  
CREA GO 7216/D

Emitido pelo Sistema Ceres em 03/07/2023

Fonte: EXATA (2024).

ANEXO M – Levantamento de dados para cálculo da Biomassa.

Responsável Sandro Mendes Barbosa Data 15 / 12 / 23  
Local Jalão-2018 Início da atividade (horário) 15:15 Fim da atividade (horário) 15:39

N Talhão	Idade	N individuo	CAC* (cm)	Altura total (m)	GPS	Observação
2018	5 anos	31	8	2,98		
2018	5 anos	32	9,1	2,88		
2018	5 anos	33	8,9	2,85		
2018	5 anos	34	9	2,86		Doença
2018	5 anos	35	8	3,19		
2018	5 anos	36	9	2,87		
2018	5 anos	37	8,5	2,96		Murcha
2018	5 anos	38	6,4	2,73		Murcha
2018	5 anos	39	7,1	2,83		
2018	5 anos	40	8,5	3		

Fonte: Coleta Local (2023).

## ANEXO N – Levantamento de dados para cálculo da Biomassa.

Responsável Krislinda Mendes Barbosa Data 15/12/23  
 Local Talhão 2017 Início da atividade (horário) 15:40 Fim da atividade (horário) 16:00

N Talhão	Idade	N indivíduo	CAC* (cm)	Altura total (m)	GPS	Observação
2017	6 meses	21	7,6	2,88		
2017	6 meses	22	8,2	2,65		
2017	6 meses	23	8,6	2,73		
2017	6 meses	24	7,8	2,83		regueada
2017	6 meses	25	7,4	2,86		
2017	6 meses	26	7,7	2,64		
2017	6 meses	27	7,3	2,60		f. g. porção
2017	6 meses	28	6,3	2,35		
2017	6 meses	29	7,4	2,69		
2017	6 meses	30	7,5	2,66		

Fonte: Coleta Local (2023).

## ANEXO O – Levantamento de dados para cálculo da Biomassa.

Responsável Krislinda Mendes Barbosa Data 15/12/23  
 Local Talhão 2016 Início da atividade (horário) 16:05 Fim da atividade (horário) 16:23

N Talhão	Idade	N indivíduo	CAC* (cm)	Altura total (m)	GPS	Observação
2016	7 meses	11	8,4	3,20		
2016	7 meses	12	7,2	2,82		
2016	7 meses	13	9,9	2,84		
2016	7 meses	14	7,30	2,75		
2016	7 meses	15	8,2	2,90		regueada
2016	7 meses	16	8,2	2,67		
2016	7 meses	17	7,5	2,58		
2016	7 meses	18	6,5	2,75		f. g. porção
2016	7 meses	19	7,9	2,88		
2016	7 meses	20	7,66m	3,14		

Fonte: Coleta Local (2023).