

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

MARCELA ALMEIDA DA SILVA

**INVENTÁRIO DA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA
PRODUÇÃO DE CAFÉ ORGÂNICO EM UM SÍTIO NO SUL DE MINAS
GERAIS.**

**Alfenas – MG
2025**

MARCELA ALMEIDA DA SILVA

**INVENTÁRIO DA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA
PRODUÇÃO DE CAFÉ ORGÂNICO EM UM SÍTIO NO SUL DE MINAS
GERAIS.**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Augusto Zaitune Pamplin

Alfenas – MG
2025

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Central

Silva, Marcela Almeida da.

Inventário da emissão de gases de efeito estufa na produção de café orgânico em um sítio no sul de Minas Gerais / Marcela Almeida da Silva. - Alfenas, MG, 2025.

31 f. : il. -

Orientador(a): Paulo Augusto Zaitune Pamplin.

Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2025.

Bibliografia.

1. Café orgânico. 2. Gases de efeito estufa. 3. Mercado de Carbono. 4. Sustentabilidade. I. Pamplin, Paulo Augusto Zaitune, orient. II. Título.

MARCELA ALMEIDA DA SILVA

**INVENTÁRIO DA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA PRODUÇÃO DE
CAFÉ ORGÂNICO EM UM SÍTIO NO SUL DE MINAS GERAIS.**

A Banca examinadora abaixo-assinada aprova a Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Ciências Ambientais.

Aprovada em: 24 de junho de 2025.

Prof. Dr. Paulo Augusto Zaitune Pamplin
Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Dra. Patrícia Monte Stefani Perussi
Instituição: Consultora independente

Prof^a. Dra. Carolina Del Roveri
Instituição: Universidade Federal de Alfenas



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Augusto Zaitune Pamplin, Professor do Magistério Superior**, em 24/06/2025, às 10:11, 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.unifal-mg.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&i_d_orgao_aces_so_externo=0, informando o código verificador **1543019** e o código CRC **2A6A55D7**.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Aproveito para dedicá-lo a minha mãe, que sempre me incentiva e me motiva a continuar, por mais que houve tempos desesperadores, rsrs. Agradeço a Tainá pela paciência, tranquilidade e por acreditar em mim quando nem eu mesma acreditava. Ao meu protetor, seu Zé, fica todo o meu respeito por me acompanhar e me guiar em meus caminhos. A Emily, proprietária da área de estudo que, com muita paciência, me passou todas as informações necessárias. Ao meu orientador, Prof Dr. Paulo A. Z. Pamplin que, com tranquilidade e persistência, me orientou e esteve sempre presente para retirar dúvidas. Agradeço também à minha banca de defesa, composta pelas Dr^{as}. Carolina Del Roveri e Patrícia Monti Stefani por todas as dicas, orientações e disponibilidade e ao PPGCA – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da UNIFAL. Por fim, a Deus, por emanar diariamente toda essa energia que me faz seguir adiante e correr atrás de meus sonhos.

Hoje acordei cedo, contemplei mais uma vez a natureza. A chuva fina chegava de mansinho.

O encanto e aroma matinal traziam um ar de reflexão. Enquanto isso, o meio ambiente pedia socorro.

Era o homem construindo e destruindo a sua casa.

Poluição, fome e desperdício deixam o mundo frágil e degradado. Dias mais quentes aquecem o “planeta água”.

Tenha um instante com a paz e a harmonia. Reflita e preserve para uma consciência coletiva. Ainda há tempo, cuide bem da natureza.

Gleudson Melo

RESUMO

Em um contexto global de crescente demanda por produtos com menor impacto ambiental, o setor agrícola — e em especial a produção de café — surge como uma oportunidade promissora para reduzir emissões de gases de efeito estufa (GEE) e promover o sequestro de carbono, contribuindo para um equilíbrio ambiental mais sustentável. Este estudo teve como objetivo quantificar as emissões de carbono no cultivo do café orgânico em um pequeno sítio no sul de Minas Gerais no ano de 2023. A metodologia foi estruturada em um inventário de emissões de GEE geradas no processo produtivo com base no GHG Protocol Brasil. Essa abordagem proporcionou uma análise integrada do impacto ambiental do sistema. Os resultados mostraram emissões totais de 0,7705 tCO₂eq./ha, sendo 74,4% advindo do consumo de combustíveis. Em comparação a outros sistemas, o cultivo de café orgânico apresentou, em média, 300% menos emissões de gases de efeito estufa. O estudo destacou que, sob manejo orgânico de baixo impacto, o café orgânico é uma cultura estratégica para a geração de créditos de carbono. Essa conclusão reforça a viabilidade do café orgânico como uma alternativa sustentável e ecologicamente responsável no cenário agrícola atual.

Palavras-chave: Café orgânico, Gases de efeito estufa, Mercado de carbono, Sustentabilidade.

Esta dissertação aborda tema relacionado as ODS abaixo



ABSTRACT

In a global context of growing demand for products with a lower environmental impact, the agricultural sector — and coffee production in particular — has emerged as a promising opportunity to reduce greenhouse gas (GHG) emissions and promote carbon sequestration, contributing to a more sustainable environmental balance. This study aimed to quantify carbon emissions from organic coffee cultivation on a small farm in southern Minas Gerais in 2023. The methodology was structured around an inventory of GHG emissions generated in the production process based on the GHG Protocol Brazil. This approach provided an integrated analysis of the system's environmental impact. The results showed total emissions of 0.770501 tCO₂eq./ha, 74.4% of which came from fuel consumption. Compared to other systems, organic coffee cultivation presented, on average, 300% lower greenhouse gas emissions. The study highlighted that, under low-impact organic management, organic coffee is a strategic crop for generating carbon credits. This conclusion reinforces the viability of organic coffee as a sustainable and ecologically responsible alternative in the current agricultural scenario.

Keywords: Organic coffee, Greenhouse gases, Carbon market, Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Localização do município sede da propriedade estudada..... | 17 |
| Figura 2 – Imagem aérea da propriedade..... | 18 |
| Figura 3 – Imagem aérea da área do cultivo de café..... | 19 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Limites operacionais e organizacionais no cafezal..... | 19 |
| Tabela 2 – Valor médio da emissão por hectare da propriedade, em tCO ₂ eq/ha..... | 22 |

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Valor médio da emissão por hectare da propriedade em %.....24

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|------------------|---|
| CECAFE | Conselho dos Exportadores de Café do Brasil |
| CH ₄ | Metano |
| CO ₂ | Dióxido de Carbono |
| EMBRAPA | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária |
| GEE | Gases de Efeito Estufa |
| GHG PROTOCOL | Protocolo GreenHouse Gases |
| G/Ton | GigaTonelada |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IPAM | Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia |
| IPCC | Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas |
| KG | Quilograma |
| L | Litro |
| MCTI | Ministério de Ciências, Tecnologia e Inovação |
| MMA | Ministério do Meio Ambiente |
| MWh | Megawatts por Hora |
| N ₂ O | Óxido Nitroso |
| NASA | Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço |
| PAG | Potencial de Aquecimento Global |
| PPM | Partes por Minuto |
| SAMBIENTAL | Saneamento Ambiental |
| SEEG | Sistemas de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa |
| WRI | World Resources Institute |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.1 | Objetivos | 16 |
| 1.1.1 | Objetivo Geral | 16 |
| 1.1.2 | Objetivos Específicos | 16 |
| 2 | METODOLOGIA | 17 |
| 2.1 | Área de Estudo | 17 |
| 2.2 | Estimativa da Emissão de CO ₂ eq | 19 |
| 3 | ESTUDOS REALIZADOS | 20 |
| 3.1 | Consumo de Energia Elétrica | 21 |
| 3.2 | Consumo de Combustíveis | 22 |
| 3.3 | Consumo de Fertilizantes Nitrogenas e Calcário..... | 22 |
| 4 | RESULTADOS | 23 |
| 4.1 | Consumo de Energia Elétrica | 24 |
| 4.2 | Consumo de Combustíveis | 24 |
| 4.3 | Consumo de Fertilizantes Nitrogenados e Calcário..... | 25 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 25 |
| 6 | REFERÊNCIAS | 26 |

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas são consideradas um dos maiores desafios do século XXI, devido ao impacto em diversas áreas da sociedade, como economia, saúde, biodiversidade e cultura (Martin; Maris; Simberloff, 2016). O sistema climático terrestre é composto por elementos interdependentes que, através de processos naturais, buscam manter o equilíbrio entre a energia que a Terra recebe do Sol e aquela que retorna a atmosfera, conservando a estabilidade climática. De acordo com o relatório do IPCC (2021), alterações no clima podem ser identificadas por mudanças duradouras na temperatura média global, as quais podem ocorrer naturalmente ou ser desencadeadas por atividades humanas.

O efeito estufa é um processo natural e essencial que estabelece condições para a vida na Terra ao equilibrar a troca de energia entre a superfície e a atmosfera, mantendo a temperatura média global em torno de 14°C (MMA, 2023). Os gases de efeito estufa (GEE) — presentes naturalmente na atmosfera — absorvem parte da radiação infravermelha emitida pelo Sol e dispersada na atmosfera, aquecendo a Terra e sustentando o equilíbrio climático (INPE, 2024).

Entre os principais GEE, regulados pelo Protocolo de Quioto¹, destacam-se o dióxido de carbono (CO₂), principalmente gerado pela queima de combustíveis fósseis; o metano (CH₄), proveniente da decomposição de matéria orgânica; e o óxido nitroso (N₂O), resultante do tratamento de dejetos animais (IPCC, 2021). No entanto, a emissão crescente desses gases, devido a atividades humanas como a geração de energia², o uso de combustíveis fósseis, o tratamento de efluentes e as mudanças no uso do solo, intensifica a concentração de GEE na atmosfera, resultando no aumento da temperatura terrestre (IPCC, 2023).

Em termos de concentração global de CO₂ na atmosfera, o valor de referência era de 280 ppm antes da Revolução Industrial (IPCC, 2007). De acordo com a EMBRAPA (2019), as medições atuais, feitas pela estação Mauna Loa, no Havaí (EUA), indicam que a concentração já ultrapassou 400 ppm. Esse aumento

¹ Protocolo de Quioto foi um tratado internacional assinado em 1997 que estabelecia metas de redução de emissões de gases de efeito estufa para os países desenvolvidos. O principal objetivo era combater o aquecimento global, com foco nos países industrializados.

² A geração de energia advém de diferentes fontes, algumas com emissão de CO₂ inferiores a outras fontes como a energia solar e a eólica.

tem sido atribuído, em grande parte, ao uso de combustíveis fósseis, que representam mais de 66% das emissões globais. As projeções do IPCC mostram que, com o aumento dos GEE, a temperatura global continuará subindo. Esses impactos já são evidentes, manifestando-se em eventos climáticos extremos, como secas prolongadas, chuvas intensas, incêndios naturais, derretimento de geleiras e elevação do nível do mar, que ameaçam a biodiversidade, a saúde e a segurança alimentar, exigindo que os países implementem estratégias de adaptação e mitigação (IPCC, 2021).

As emissões globais de dióxido de carbono, atualmente em torno de 50 Gt/ano, correspondem a aproximadamente 74,4% das emissões de GEE, seguidas pelo metano, com 17,6% das emissões. De acordo com o relatório da WRI (2023), os maiores emissores de GEE são China, União Europeia e Estados Unidos, com uma contribuição conjunta de 42,6% das emissões globais, sendo somente a China responsável por 26% desse total. No Brasil, as emissões anuais de GEE variam entre 1,5 e 2 Gt CO₂e, representando de 2% a 3% das emissões mundiais (OC, 2023). Todos os países signatários da Convenção do Clima, incluindo o Protocolo de Quioto e o Acordo de Paris³, devem apresentar periodicamente seus inventários de emissões.

Considerando os diferentes setores da economia, o setor energético é o principal responsável por emissões globais de GEE, com 75%, seguido pelo setor agropecuário, que contribui com 12%. No Brasil, o setor agropecuário responde pela maior parte das emissões de CO₂, cerca de 74% do total de poluição climática registrada no país, de acordo com relatório do IPAM (2023). Segundo o SEEG (2021), 46% dessas emissões advêm do desmatamento e de incêndios em áreas naturais, seguido pela pecuária bovina, com 28%, devido à fermentação entérica. Outros fatores que ampliam as emissões de GEE no setor agropecuário incluem o uso de fertilizantes nitrogenados, combustíveis fósseis no transporte de produtos e a compactação do solo, que reduz a infiltração de água (SAMBIENTAL, 2022).

A cafeicultura destaca-se como um dos principais sistemas produtivos no Brasil, com Minas Gerais responsável por 55% da área cultivada no país (CONAB, 2022). A produção de café contribui para as emissões de GEE devido a processos

³ Acordo de Paris é um tratado internacional sobre mudanças climáticas, adotado em 2015 pela Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP21) e que entrou em vigor em 2016. O objetivo principal é limitar o aumento da temperatura global a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais, através de medidas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa.

que envolvem o uso de energia elétrica, combustíveis fósseis para operações agrícolas e fertilizantes nitrogenados (Silva, 2024). Com o consumo de café em crescimento constante, ele é hoje a bebida mais consumida no mundo, sendo cultivado em mais de 80 países. O Brasil lidera a produção e exportação global, respondendo por um terço da produção mundial (OIC, 2023).

Estudos regionais indicam que a cafeicultura em Minas Gerais gera emissões de aproximadamente 1,44 Mg CO₂ eq/ha, valor que se reduz a 1,24 Mg CO₂ eq/ha em áreas de manejo mecanizado (Oliveira Junior *et al.*, 2022).

Ao longo dos anos, o cultivo de café no Brasil adaptou-se à demanda por práticas mais sustentáveis, especialmente em resposta às exigências do mercado de exportação. Minas Gerais, em especial, destaca-se pela produção em monocultivo e pela colheita manual no Sul do estado, uma das principais regiões produtoras do país, com características montanhosas (REGIÃO DAS MATAS DE MINAS, 2021). Para promover a sustentabilidade na cadeia produtiva, a análise da pegada de carbono tem sido utilizada para identificar atividades com alto potencial de emissão de GEE, possibilitando a adoção de práticas de manejo que reduzam essas emissões (EMBRAPA, 2017). O desafio da cafeicultura brasileira reside em reduzir as emissões de GEE, aumentando ao mesmo tempo a produtividade e minimizando os impactos ambientais.

Diante desse contexto, torna-se cada vez mais relevante o desenvolvimento de estudos que avaliem a viabilidade econômica da cafeicultura. Pesquisas comparativas entre sistemas de cultivo convencional e orgânico têm sido conduzidas, como as realizadas por Carmo e Magalhães (1999), Sarcineli e Rodriguez (2012) e Caixeta *et al.* (2009). Estes pesquisadores observaram que a cafeicultura orgânica alcançou receitas bruta e líquida superiores devido ao preço mais elevado, demonstrando potencial para um desenvolvimento econômico sustentável.

Diante da crescente demanda por práticas agrícolas sustentáveis, sistemas de produção voltados para uma cafeicultura de baixo impacto ambiental têm surgido. Segundo a UFLA (2023), a cafeicultura orgânica adota práticas que preservam o solo, a água e a biodiversidade, além de reduzir a dependência de insumos industriais por meio da reciclagem de resíduos orgânicos e do manejo ecológico de pragas e doenças.

Esse modelo não se limita à ausência de agrotóxicos e aditivos químicos, mas busca a sustentabilidade de longo prazo por meio de um manejo equilibrado dos recursos naturais, promovendo produtividade e viabilidade econômica (Reis et.al., 2024).

Considerando a capacidade da cafeicultura sustentável de remover carbono da atmosfera, o manejo orgânico pode trazer benefícios econômicos aos produtores por meio da geração de créditos de carbono (CECAFE, 2022). Esses créditos, representando uma tonelada de carbono evitada, são negociados no mercado de carbono, onde empresas com altos níveis de emissão podem comprá-los para compensar suas emissões (SENSIX, 2021). O mercado global de carbono, ao distribuir permissões de emissão, possibilita que países que emitam menos possam vender suas cotas excedentes para aqueles que excedam seus limites, promovendo a compensação e redução das emissões em escala global.

Investigações que quantifiquem e analisem as emissões associadas à produção orgânica de café podem oferecer subsídios valiosos para estratégias de mitigação e para a promoção de práticas agrícolas mais sustentáveis. O estudo pretende abordar essa lacuna, focalizando um sítio de produção de café orgânico no Sul de Minas Gerais, considerando suas práticas produtivas e os possíveis impactos ambientais decorrentes das emissões de GEE.

Assim, seguem os objetivos deste trabalho:

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Quantificar e analisar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) associadas às práticas de produção de café orgânico em um sítio localizado no Sul de Minas Gerais, visando contribuir para estratégias de mitigação e para a sustentabilidade da cafeicultura orgânica.

1.1.2 Objetivos Específicos:

- a) Realizar o levantamento detalhado das práticas agrícolas (adubação, manejo de solo, irrigação, transporte, etc.) no sítio estudado;
- b) Identificar as fontes e tipos de gases emitidos (como CO₂, CH₄ e N₂O) em cada

etapa da produção;

- c) Aplicar métodos reconhecidos de inventário de carbono, como as diretrizes do IPCC ou protocolos específicos para agricultura;
- d) Avaliar a eficiência ambiental da produção orgânica em relação às emissões de GEE.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de Estudo

A pesquisa foi realizada no sítio Meu Pedacinho de Chão, localizado no município de Santa Rita do Sapucaí, no sul de Minas Gerais, numa altitude de 885m, latitude $22^{\circ}17'15''\text{S}$ e longitude $45^{\circ}42'01''\text{W}$. O município apresenta precipitação pluvial anual média de 107,1mm distribuídas de outubro a abril, temperatura anual que varia de 6°C à 34°C e clima caracterizado como mesotérmico brando tipo Cwb - Clima subtropical de altitude, com inverno seco e verão ameno tropical de altitude (WEATHER SPARK, 2024).

Figura 1 – Localização do município cede da propriedade estudada



Fonte - Google Earth

Figura 2 - Imagem aérea da propriedade



Fonte - Google Earth

Esta propriedade tem pouco mais que 2,8 hectares de tamanho com cultivos de café e árvores frutíferas.

A área produtiva de café é gerida com as melhores práticas agrônômicas, abrangendo todas as etapas, desde a adubação até o controle de plantas daninhas, pragas e doenças, além do manejo de podas e cuidados pós-colheita. O manejo é conduzido de forma agroecológica, com foco em melhorias na saúde do solo, nas plantas, na qualidade do ar do entorno, na preservação da biodiversidade, no ambiente como o todo, melhorando a qualidade de vida.

A área de estudo consiste em uma plantação de café orgânico de 1 ano de idade, com um espaçamento de plantio de 2 x 0,5 m e, aproximadamente, 4.000 plantas em uma área de 8.278,06m².

Figura 3 - Imagem da área do cultivo de café



Fonte - Google Earth

2.2 Estimativa da emissão de CO₂ eq¹.

A gestão eficaz das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) é essencial para organizações comprometidas com práticas sustentáveis. Nesse contexto, o GHG Protocol Brasil, desenvolvido pela FGVces e WRI em parceria com o Ministério do Meio Ambiente, o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS), o World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) e 27 empresas fundadoras, é a metodologia mais adotada nacionalmente (FGV, 2024). Compatível com normas ISO 14.064 e metodologias do IPCC, essa ferramenta é crucial para aprimorar a qualidade e consistência dos inventários corporativos, proporcionando às empresas e governos uma abordagem eficiente na gestão de seus impactos ambientais.

A metodologia do GHG Protocol implica uma série de passos para a elaboração de inventários de emissões. Inicialmente, é crucial definir claramente os limites operacionais e organizacionais do inventário. No exemplo específico da produção de café em grão, os limites organizacionais englobam operações diretas e indiretas, como o consumo de fertilizantes, corretivos, combustíveis fósseis e energia elétrica.

¹ CO₂ eq, ou equivalente de dióxido de carbono, é uma unidade de medida que compara as emissões de diferentes gases de efeito estufa (GEE) em relação ao impacto que teriam no aquecimento global, tudo convertido para a quantidade equivalente de dióxido de carbono (CO₂). É uma forma de padronizar a comparação de diferentes GEE, pois cada um deles tem um potencial de aquecimento global diferente.

A customização da ferramenta de cálculo leva em consideração fontes específicas de emissão associadas a essas operações.

Outro aspecto que foi considerado está relacionado aos limites operacionais por se referirem ao escopo das atividades que uma organização decide incluir ao calcular suas emissões de gases de efeito estufa em um inventário. Eles especificam quais operações e atividades serão contabilizadas, considerando a influência e o controle da empresa sobre essas emissões. O Escopo 1 (Emissões Diretas) inclui emissões provenientes de fontes controladas diretamente pela organização, o escopo 2 (Emissões Indiretas de Energia) envolve emissões relacionadas ao consumo de energia elétrica e térmica e o escopo 3 (Outras Emissões Indiretas) inclui todas as outras emissões indiretas ao longo da cadeia de valor. Esses limites operacionais ajudam a garantir que o inventário de emissões represente com precisão o impacto da organização sobre o clima, facilitando a criação de estratégias de mitigação e sustentabilidade (WRI, 2020).

3 ATIVIDADES REALIZADAS

As informações apresentadas na Tabela 1 foram colhidas através de pesquisa junto a proprietária da área estudada em conversas estruturadas e direcionadas ao levantamento dos limites operacionais e organizacionais seguindo o protocolo GHG.

Tabela 1 – Limites Operacionais e Organizacionais do cafezal

| Fonte de emissão | Escopo | Quantidade | Qt. Anual |
|----------------------------------|--------|------------|----------------------|
| Adubação nitrogenada (N-ORG 15%) | 1 | 320kg | 0,32t |
| Calcário | 1 | 240kg | 0,24t |
| Bokashi (3% de nitrogênio) | 1 | 220kg | 0,22t |
| Roçadeira (Gasolina) | 1 | 46,5l | 46,5l |
| Veículo/Locomoção | 1 | 15l/mês | 180l |
| Energia Elétrica | 2 | 152kwh | 1824kwh/ 1,824mwh |

Fonte - Elaboração da autora

3.1 Consumo de energia elétrica

O cálculo das emissões de GEE provenientes do consumo de energia elétrica segue uma fórmula que considera a quantidade de eletricidade consumida e o fator de emissão correspondente à fonte de energia utilizada (MCTI, 2023).

O cálculo geral é:

$$\text{Emissões (tCO}_2\text{eq)} = \text{Consumo de Energia (kwh)} \times \text{Fator de Emissão (tCO}_2\text{eq/kwh)}$$

Onde:

- Consumo de Energia (kwh): É a quantidade de eletricidade consumida pela organização em um período específico.
- Fator de Emissão (tCO₂eq/kwh): Representa a quantidade de GEE emitida por unidade de eletricidade consumida, dependendo da matriz energética do país ou da região. Em países com uma matriz energética mais limpa (como o Brasil, que utiliza muitas fontes renováveis), esse fator é geralmente mais baixo. Em países que dependem mais de combustíveis fósseis, como carvão e gás, o fator é maior

(BRASIL, 2021) que é majoritariamente renovável, com alta participação de hidrelétricas, aproximadamente 0,0385 toneladas de CO₂ por megawatt-hora (tCO₂/MWh) (MCTI, 2024).

3.2 Consumo de combustíveis

O cálculo das emissões de GEE para combustíveis segue uma fórmula que considera a quantidade de combustível consumido e o fator de emissão específico do combustível utilizado. A fórmula geral é:

$$\text{Emissões (tCO}_2\text{eq)} = \text{Consumo de Combustível (unidade)} \times \text{Fator de Emissão (tCO}_2\text{eq/unidade)}$$

Onde:

- Consumo de Combustível: É a quantidade de combustível consumida em uma unidade específica (como litros para gasolina, diesel e etanol, ou metros cúbicos para gás natural).
- Fator de Emissão (tCO₂eq/unidade): Representa a quantidade de gases de efeito estufa emitida por unidade de combustível consumido. Esse fator depende do tipo de combustível, já que cada combustível tem uma composição química diferente que resulta em diferentes quantidades de CO₂ emitidas ao ser queimado.

Os fatores de emissão para combustíveis são estabelecidos considerando a quantidade de CO₂ emitida pela combustão de cada tipo de combustível. A GHG Protocol Brasil utiliza, atualmente estes valores: Gasolina: Aproximadamente 2,3 kg CO₂eq/litro; Diesel: Aproximadamente 2,6 kg CO₂eq/litro; Gás Natural (GN): Aproximadamente 1,9 kg CO₂eq/m³; Etanol (anidro): Aproximadamente 1,5 kg CO₂eq/litro e GLP (Gás Liquefeito de Petróleo): Aproximadamente 2,98 kg CO₂eq/kg.

Os fatores de emissão médios de CO₂, CH₄ e N₂O para o uso de combustíveis fósseis, utilizados neste inventário, visam estimar a quantidade de CO₂ eq associada aos diferentes veículos empregados na produção de café (WRI, 2020).

3.3 Consumo de fertilizantes nitrogenados e calcário

Para o cálculo de emissões alguns fatores de conversão foram utilizados, principalmente acerca da estimativa dos corretivos, as equações utilizadas foram:

Para estimativa de aplicação de fertilizantes orgânicos temos seguinte equação (EMBRAPA, 2019):

$$EN_2O = N_{FERT} \times FE$$

Em que:

- EN_2O são as emissões de N_2O (em kg de N_2O) resultantes da utilização do fertilizante nitrogenado;
- N_{FERT} é a quantidade de N aplicado como fertilizante nitrogenado (em kg N);
- FE é o fator de emissão (em kg de N_2O /kg N) obtido em MCTI (2024), equivalente a 0,02235.

Para corretivo de solo temos (EMBRAPA, 2019):

$$ECO_2_{\text{calcário}} = M_{\text{calcário}} \times FE_{\text{calcário}}$$

Em que:

- ECO_2 são as emissões de CO_2 (em kg de CO_2) resultantes da utilização do calcário;
- M é a quantidade de calcário aplicada (em kg);
- FE é o fator de emissão (em kg de CO_2 /kg calcário) utilizado no Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (MCTI, 2020), equivalente a 0,4767.

4 RESULTADOS

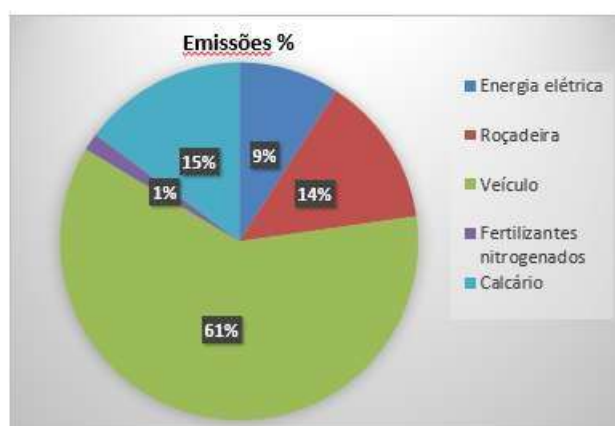
A emissão total média de cada hectare das propriedades avaliadas, considerando todas as fontes de emissão, foi de 0,770 tCO₂eq./ha. Entre as fontes de emissões abrangidas pelo estudo, a que gera maior impacto sobre a emissão total da propriedade rural é o uso de combustíveis fósseis (gasolina e diesel), seguida pela utilização de fertilizantes e corretivos.

Tabela 2 – Valor médio da emissão por hectare da propriedade em tCO₂eq/ha

| Categorias | Emissões tCO ₂ eq |
|----------------------------|------------------------------|
| Energia Elétrica | 0,07 |
| Roçadeira | 0,105 |
| Veículo | 0,468 |
| Fertilizantes Nitrogenados | 0,012 |
| Calcário | 0,114 |
| Total | 0,77 |

Fonte - Elaboração da autora

Gráfico 1 – Valor médio da emissão por hectare da propriedade em %



Fonte - Elaboração da autora

4.1 Consumo de energia elétrica

A emissão proveniente do consumo de energia foi responsável por somente 9% do total emitido pela propriedade. Com emissão total de 0,770 tCO₂eq/ha essa foi a fonte menos representativa. Considerando que a maior parte da matriz energética brasileira é abastecida por fontes renováveis, o baixo fator de emissão do consumo de energia elétrica pode ter contribuído para o valor inferior encontrado nesse parâmetro analisado.

4.2 Consumo de combustíveis fósseis

Nas últimas décadas, a cultura do café passou por grandes transformações devido à adoção de técnicas modernas de produção. Entre essas técnicas, destaca-se o espaçamento de plantio, que facilitou práticas como adubação e controle de pragas e doenças com o uso de máquinas e implementos agrícolas. Além disso, o emprego de colhedoras mecanizadas e o transporte da colheita tornaram-se essenciais.

As emissões provenientes do consumo de combustíveis nas atividades diretas e indiretas da propriedade é a maior (0,573 tCO₂eq./ha) representando pouco mais de 74% do total das emissões. O óleo diesel foi responsável por cerca de 81% desse total. Os veículos foram as principais fontes de emissão, o que demonstra que a mecanização da cafeicultura foi o maior contribuinte para os GEE.

4.3 Corretivos e fertilizantes nitrogenados

A aplicação de calagem para correção do solo resultou na emissão de 0,114 tCO₂eq./ha. Já os adubos nitrogenados emitiram 0,012 tCO₂eq./ha, ficando em segundo lugar na análise de todas as emissões (16%). Segundo Carmo et al. (2013) e Mattos Junior, Cantarella e Quaggio (2002), a maior parte das emissões de N₂O está relacionada aos processos biológicos de desnitrificação.

Ao comparar os resultados com os estudos de Oliveira Junior et al. (2022), que apresentaram 5,77 toneladas de CO₂ equivalente por hectare para suas lavouras de café tradicional e os estudos do Hamasaki (2023), que registraram, em média, 2,661 toneladas de CO₂ equivalente por hectare em sua fazenda de café orgânico, observamos resultados satisfatórios por termos encontrado uma emissão significativamente inferior em comparação com os estudos de outros autores. Essa discrepância decorre do fato de que o café orgânico não faz uso de adubos nitrogenados sintéticos, que contribui em média com 50% das emissões, utilizando apenas adubos orgânicos e que, no estudo de Hamasaki (2023), entrou na contagem de emissões o processo de colheita e secagem do café.

Com base nisso, podemos concluir que uma lavoura orgânica, quando comparada a lavouras de café tradicionais, emite em média 345% menos gases de efeito estufa decorrentes de suas atividades.

Conhecer o perfil das emissões da propriedade rural permite ao produtor programar estratégias de controle das principais fontes de emissão. Além disso,

permite aos demais responsáveis o desenvolvimento de tecnologias alternativas e mais efetivas, que possibilitam a redução das emissões de GEE de determinada atividade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estimou-se que entre as principais fontes emissoras na produção de café orgânico da propriedade estudada estão o uso de combustíveis (74,4%), seguindo de fertilizantes nitrogenados e calcário (16,4%) e energia elétrica (9,2%), produzindo um total de 0,770 tCO₂eq./ha. Isto mostrou que, as boas práticas de produção foram eficientes para a redução da emissão de GEE em relação às práticas convencionais que apresentaram emissão de pouco mais que 300% em estudos de outros autores.

Ressalta-se que mais pesquisas de campo ainda são necessárias, principalmente nas mensurações em campo para o melhor ajuste dos cálculos de estimativa como por exemplo: (i) volatilização de NH₃ nas aplicações na cultura, (ii) uso de manejos consorciados com culturas perenes, (iii) uso de novas tecnologias de insumos aplicados neste sistema de produção (e.g: ureia protegida e/ou com liberação lenta, controlada).

Considerou-se também algumas possíveis medidas que ajudam na redução de GEE na cafeicultura orgânica como a) Uso de Adubos Orgânicos e Compostagem: a substituição de fertilizantes sintéticos por orgânicos (compostos, esterco) reduz significativamente a emissão de óxido nitroso (N₂O) gerado por adubação nitrogenada; b) Gestão Eficiente de Resíduos: o bagaço/palha de café e restos vegetais, quando compostados, voltam nutrientes ao solo e evitam emissão de GEE direta como metano ou N₂O da decomposição in situ; c) Adoção de Bioinsumos: estudos mostram que o uso de fertilizantes organominerais reduz em até 50 % as emissões por N₂O se comparado ao uso de fertilizantes nitrogenados puros; d) Agricultura Regenerativa e Sistemas Agroflorestais: a implantação de SAFs pode aumentar os estoques de carbono no solo em até 30 % em relação a áreas naturais; e) Eficiência Energética e Uso de Máquinas: estudos mostraram que práticas como cobertura do solo, compostagem e adubação organomineral levam a um balanço líquido de até -10,5 t CO₂ eq/ha/ano (EMBRAPA, 2024).

Este trabalho contribuiu para mensurar as principais fontes de emissão de CO₂ equivalente no manejo da cafeicultura orgânica e é um importante passo para o entendimento do potencial da cafeicultura orgânica brasileira sustentável, alinhado a estratégia mundial, direcionando a produção para práticas sustentáveis rumo à uma agricultura de baixo carbono.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Efeito estufa**. Brasília: MMA, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/clima/efeito-estufa>. Acesso em: 27 abr. 2024.
- BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **O que é o efeito estufa?** Brasília: INPE, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/inpe/pt-br/aceso-a-informacao/perguntas-frequentes/principais-produtos-e-servicos-do-inpe/monitoramento-do-territorio-mudancas-climaticas/o-que-e-o-efeito>. Acesso em: 27 abr. 2024.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Fatores de emissão de CO₂ para combustíveis da matriz energética brasileira**. Brasília: MCTI, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/indicadores/fatores-de-emissao>. Acesso em: 27 abr. 2025
- CAIXETA, R. P. Mudanças climáticas globais: efeitos no Brasil. **Revista GEOUSP – Espaço e Tempo**, n. 26, p. 163–179, 2009.
- CARMO, C. A.; MAGALHÃES, J. R. O aquecimento global e o efeito estufa. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 21, n. 2, p. 200-205, 1999.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (BRASIL). **Acompanhamento da safra brasileira. Safra 2022. 3º levantamento**. Brasília: CONAB, 2022. v. 9, n. 3.
- CONSELHO DOS EXPORTADORES DE CAFÉ DO BRASIL. **Brasil mais próximo da criação do mercado regulado de carbono**. São Paulo: CECAFE, 2022. Disponível em: <https://www.cecafe.com.br/sustentabilidade/artigos/brasil-mais-proximo-da-criacao-do-mercado-regulado-de-carbono-20220609/>. Acesso em: 03 ago. 2023.
- EMBRAPA. **Sequestro de carbono e mitigação de emissões de gases de efeito estufa pela adoção de sistemas integrados**. Brasília: EMBRAPA, 2019. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/202846/1/CAP-11-LUIZ-ADRIANO.pdf>. Acesso em 20 jul. 2023
- EMBRAPA. **Pegada de carbono de produtos agrícolas: estudo de caso**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2017. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1076115/1/CLV17013.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2024.
- EMBRAPA. **Cálculo das emissões de GEE a partir do uso de fertilizantes nitrogenados na agricultura**. Brasília: EMBRAPA, 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br>. Acesso em: 27 abr. 2024.
- EMBRAPA. **Sistemas agroflorestais promovem estoque de carbono no solo 30% maior do que o da vegetação natural**. Brasília: EMBRAPA, 2024. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/89033486/sistemas-agroflorestais-promovem-estoque-de-carbono-no-solo-30-maior-do-que-o-da-vegetacao-natural?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 27 abr. 2025.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. **Programa Brasileiro GHG Protocol. Guia para a elaboração de inventários corporativos de emissões de gases do efeito estufa (GEE)**. São Paulo: FGV, 2024. Disponível em: <https://registropublicodeemissoes.fgv.br/>. Acesso em: 27 abr. 2024.

INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA. **Relatório revela a maior emissão em quase duas décadas**. Belém do Pará: IPAM, 2023. Disponível em: <https://ipam.org.br/relatorio-revela-a-maior-emissao-em-quase-duas-decadas/>. Acesso em: 17 jul. 2023

INSTITUTO DE RECURSOS MUNDIAIS. **A trajetória dos 10 maiores emissores de carbono desde o Acordo de Paris em gráficos interativos**. São Paulo: WRI BRASIL, 2023. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/trajetoria-dos-10-maiores-emissores-de-carbono-desde-o-acordo-de-paris-em-graficos>. Acesso em: 27 abr. 2024.

MARTIN, J. L.; MARIS, V.; SIMBERLOFF, D. S. The need to respect nature and its limits challenges society and conservation science. **PNAS**, v. 113, n. 22, p. 6105 - 6112, 2016.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil / 1970-2021**. Brasília: OC, 2023. Disponível em: <https://educacao.cemaden.gov.br/wp-content/uploads/2023/11/SEEG-10-anos-v4.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2024.

OLIVEIRA JÚNIOR, G. G. de. *et al.* Estimativa da emissão de CO₂ equivalente em operações mecanizadas na cultura do cafeeiro. **Revista de Administração, Marketing e Agronegócio**, v. 18, n. 2, p. 1-15, 2022. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/6576>. Acesso em: 27 abr. 2024.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ. **Coffee Annual – Brazil 2023/24**. Brasília: USDA, 2023. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/newgainfiles/202303/2023032023.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2024.

ORGANIZAÇÃO MATAS DE MINAS. **Região das Matas de Minas**. [S.l.]: Matas de Minas, 2021. Disponível em: <https://matasdeminas.org.br/matas-de-minas/>. Acesso em: 03 ago. 2023.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Climate change 2021: The physical science basis**. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2021. DOI: 10.1017/9781009157896.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Sumário para formuladores de políticas: Sexto Relatório de Avaliação (AR6) – Base científica física**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/copy_of_IPCC_Longer_Report_2023_Portugues.pdf. Acesso em: 27 abr. 2024

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Climate change 2007: The physical science basis** – Contribution of working group I to the fourth assessment report. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. Disponível em: <https://archive.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/016.htm>. Acesso em: 27 abr. 2024.

PLATAFORMA DE AGRICULTURA DE PRECISÃO. **Mercado de carbono, como o agricultor pode se aproveitar disso?** Uberlândia, MG: SENSIX, 2021. Disponível em: <https://blog.sensix.ag/mercado-de-carbono-como-o-agricultor-pode-se-aproveitar-disso/>. Acesso em: 03 ago. 2023.

PORTAL SANEAMENTO AMBIENTAL. Agropecuária brasileira responde por 73% das emissões. **Revista Digital Saneamento Ambiental**. 2022. Disponível em: <https://www.sambiental.com.br/noticias/agropecuaria-brasileira-responde-por-73-das-emissoes>. Acesso em: 03 ago. 2023.

REIS, E. M. *et al.* Viabilidade econômica da conversão de cultivo do café convencional para orgânico na região do Sul de Minas Gerais. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, 18(1), e07508, 2024.

SARCINELLI, T. S.; RODRIGUES, R. A. R. Aquecimento global: causas e consequências. **Revista Geonorte**. Manaus, AM. v. 3. n. 8. 2012.

SILVA, J. da; PEREIRA, M. de S. **Panorama para o balanço de carbono na produção de café**. São Paulo: Solidaridad América Latina, 2024. Disponível em: <https://solidaridadlatam.org/brasil/wp-content/uploads/2024/06/Panorama-para-o-balanco-de-carbono-na-producao-de-cafe.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2025.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. **Emissões por setor – Agropecuária**. Brasília: SEEG, 2021. Disponível em: <https://plataforma.seeg.eco.br/sectors/agropecuaria>. Acesso em: 03 ago. 2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS. **Manual do manejo orgânico do cafeeiro**. Lavras: UFLA, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/56706/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20Manual%20do%20manejo%20org%C3%A2nico%20do%20cafeeiro.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2024.

WEATHER SPARK. **Clima e condições meteorológicas médias em Santa Rita do Sapucaí no ano todo**. Minneapolis: Weather Spark, 2024. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/30399/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Santa-Rita-do-Sapuca%C3%AD-Minas-Gerais-Brasil-durante-o-ano>. Acesso em: 27 abr. 2024.

WORLD RESOURCES INSTITUTE. World Business Council for Sustainable Development. **Protocolo de gases de efeito estufa: Padrão corporativo**. 3. ed. São Paulo: WRI, 2020. Disponível em: <https://ghgprotocol.org>. Acesso em: 27 abr. 2024.