



**PAULO SEITI ARAÚJO HAMASAKI**

**BALANÇO DE CARBONO EM UMA LAVOURA DE  
CAFÉ ORGÂNICA**

**LAVRAS - MG  
2023**

**PAULO SEITI ARAÚJO HAMASAKI**

**BALANÇO DE CARBONO EM UMA LAVOURA DE CAFÉ ORGÂNICA**

Monografia apresenta à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Florestal, para a obtenção do título de Bacharel

Dr. Samuel José Silva Soares da Rocha  
Orientador

Dr. Marcela de Castro Nunes Santos Terra  
Coorientador

**LAVRAS - MG**

**2023**

**PAULO SEIITI ARAÚJO HAMASAKI**

**BALANÇO DE CARBONO EM UMA LAVOURA DE CAFÉ ORGÂNICA**

**CARBON BALANCE IN AN ORGANIC COFFE PLANTATION**

Monografia apresenta à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Florestal, para a obtenção do título de Bacharel

APROVADA em  
Dr. Samuel José Silva Soares da Rocha UFLA  
Dr. Marcela de Castro Nunes Santos Terra UFJF

Dr. Samuel José Silva Soares da Rocha  
Orientador

Dr. Marcela de Castro Nunes Santos Terra  
Coorientador

**LAVRAS - MG**  
**2023**

## RESUMO

Num cenário global de busca por produtos com menor pegada ecológica, o setor agrícola, incluindo a produção de café, destaca-se como uma área promissora para redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) e sequestro de carbono, contribuindo para um equilíbrio ambiental mais sustentável. Este estudo se propõe a quantificar as emissões de carbono no processo produtivo do café orgânico e avaliar o sequestro de carbono na lavoura, abrangendo o período de agosto de 2022 a agosto de 2023. A pesquisa conduzida em um sistema de café orgânico em Maria da Fé, Minas Gerais, abordou o ciclo produtivo, desde a adubação até a colheita e secagem em estufa. A metodologia foi dividida em três etapas principais: a coleta de dados agrônômicos para estimativa de  $\text{CO}_2\text{eq ha}^{-1}$  sequestrado na biomassa do café e no solo, inventário de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), utilizando a metodologia GHG Protocol Brasil, e por último o balanço de  $\text{CO}_2\text{eq ha}^{-1}$ , calculado pela diferença entre o sequestro total de carbono no solo e na biomassa do cafezal e as emissões correspondentes do processo produtivo, oferecendo uma visão integrada do impacto ambiental do sistema de produção de café. Os resultados indicaram emissões totais de  $2,6613 \text{ tCO}_2\text{eq ha}^{-1}$  durante o estudo, com 51,5% biogênicas ( $1,3706 \text{ tCO}_2\text{eq ha}^{-1}$ ) e 48,5% antropogênicas ( $1,29068 \text{ tCO}_2\text{eq ha}^{-1}$ ), comparado a outros estudos o café orgânico emitiu em média 139% menos gases de efeito estufa. O sequestro de carbono totalizou  $98,6984 \text{ tCO}_2\text{eq ha}^{-1}$  na lavoura e no solo, com médias de  $4,2603 \text{ tCO}_2\text{eq ha}^{-1}$  para o cafezal e  $95,963 \text{ tCO}_2\text{eq ha}^{-1}$  para o solo. O balanço de carbono anual revelou que as lavouras de café, sequestraram 1,32 vezes mais  $\text{tCO}_2\text{eq ha}^{-1}$  por ano do que emitiram, resultando em um saldo positivo de  $96,374 \text{ tCO}_2\text{eq ha}^{-1}$  ano. O estudo destacou que, considerando o manejo orgânico e com baixo impacto, o saldo total de carbono equivalente foi mais de 74,4 vezes superior às emissões. O solo foi identificado como a principal área de sequestro, evidenciando a importância do manejo orgânico na redução das emissões antropogênicas e na fixação da matéria orgânica no solo. Concluiu-se que o balanço de carbono nas lavouras de café não é apenas neutro, mas pode apresentar saldos positivos, tornando o café orgânico uma cultura potencialmente robusta para participação no mercado de carbono como fornecedora de créditos de carbono. Essa conclusão reforça a viabilidade do café orgânico como uma alternativa sustentável e responsável ecologicamente no cenário agrícola contemporâneo.

**Palavras-chave:** Café orgânico, Gases de efeito estufa, Sequestro de carbono, Balanço de carbono, mercado de carbono.

## ABSTRACT

In a global scenario characterized by a search for products with a lower ecological footprint, the agricultural sector, including coffee production, stands out as a promising area for reducing greenhouse gas (GHG) emissions and carbon sequestration, contributing to a more sustainable environmental balance. This study aims to quantify carbon emissions in the organic coffee production process and evaluate carbon sequestration in the plantation, covering the period from August 2022 to August 2023. Conducted in an organic coffee system in Maria da Fé, Minas Gerais, the research addressed the entire production cycle, from fertilization to harvest and drying in greenhouses. The methodology was divided into three main stages: agronomic data collection to estimate  $\text{tCO}_2\text{eq ha}^{-1}$  sequestered in coffee biomass and soil, Greenhouse Gas (GHG) emissions inventory using the GHG Protocol Brazil methodology, and finally, the  $\text{CO}_2\text{eq ha}^{-1}$  balance, calculated by the difference between the total carbon sequestration in soil and coffee biomass and the corresponding emissions from the production process, providing an integrated view of the environmental impact of the coffee production system. The results indicated total emissions of  $2.661 \text{ tCO}_2\text{eq ha}^{-1}$  during the study, with 51.5% biogenic ( $1.3706 \text{ tCO}_2\text{eq ha}^{-1}$ ) and 48.5% anthropogenic ( $1.29068 \text{ tCO}_2\text{eq ha}^{-1}$ ). Compared to other studies, organic coffee emitted an average of 139% fewer greenhouse gases. Carbon sequestration totaled  $98,6984 \text{ tCO}_2\text{eq ha}^{-1}$  in the plantation and soil, with averages of  $4.2603 \text{ tCO}_2\text{eq ha}^{-1}$  for the coffee plantation and  $95.963 \text{ tCO}_2\text{eq ha}^{-1}$  for the soil. The annual carbon balance revealed that coffee plantations, sequestered 1.32 times more  $\text{tCO}_2\text{eq ha}^{-1}$  annually than emitted, resulting in a positive balance of  $96.374 \text{ tCO}_2\text{eq ha}^{-1}$ . The study highlighted that, considering organic and low-impact management, the total carbon equivalent balance was more than 74.4 times higher than emissions. The soil was identified as the primary sequestration area, emphasizing the importance of organic management in reducing anthropogenic emissions and fixing organic matter in the soil. It was concluded that the carbon balance in coffee plantations is not only neutral but can also have positive balances, making organic coffee a potentially robust crop for participation in the carbon market as a supplier of carbon credits. This conclusion reinforces the viability of organic coffee as a sustainable and environmentally responsible alternative in the contemporary agricultural scenario.

**Keywords:** Organic coffee, Greenhouse gases, Carbon sequestration, Carbon balance, carbon market.

## SUMÁRIO

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>6</b>  |
| <b>2</b> | <b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>  | <b>8</b>  |
| 2.1      | Mudanças climáticas e gases de efeito estufa .....  | 8         |
| 2.2      | Inventário de emissões e Programa Brasileiro Protocolo GHG .....                            | 12        |
| 2.3      | Balanco de carbono na cafeicultura .....  | 13        |
| 2.4      | Alternativas mitigadoras de GEE na agricultura e no café orgânico .....                     | 14        |
| <b>3</b> | <b>METODOLOGIA .....</b>  | <b>14</b> |
| 3.1      | Área de estudo .....  | 15        |
| 3.2      | Estimativa de emissões de tCO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup> anual.....                   | 16        |
| 3.3      | Estimativa de sequestro de tCO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup> anual .....                 | 18        |
| 3.2.1    | Amostragem do cafezal para estimativa de carbono na lavoura .....                           | 18        |
| 3.2.2    | Amostragem de solo para estimativa de carbono no solo .....                                 | 20        |
| 3.4      | Balanco do tCO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup> anual.....                                  | 21        |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>   | <b>22</b> |
| 4.1      | Estimativa de sequestro de tCO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup> na biomassa e no solo ..... | 22        |
| 4.2      | Estimativas de emissões de tCO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup> anual do processo .....     | 25        |
| 4.3      | Balanco de tCO <sub>2</sub> eq total e tCO <sub>2</sub> eqha <sup>-1</sup> anual.....       | 27        |
| <b>5</b> | <b>CONCLUSÃO .....</b>  | <b>30</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS.....</b>   | <b>31</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

O café é uma das commodities mais apreciadas e consumidas em todo o mundo, desempenhando um papel fundamental na economia global. O Brasil, em particular, ostenta o título de maior produtor e exportador de café do planeta, enquanto também assume a posição de segundo maior consumidor dessa bebida de sabor único (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA, 2023). A demanda por café, tanto no mercado doméstico quanto internacional, tem demonstrado um crescimento constante ao longo dos anos. No período, de 2014 a 2022, a demanda por sacas de café no Brasil aumentou significativamente, indo de 144,1 milhões para 170,2 milhões de sacas, este cenário de expansão do mercado é corroborado por estimativas que apontam vendas da indústria de café alcançando a marca de R\$ 23,5 bilhões em 2022 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ, 2022).

Contudo, esse cenário de prosperidade não está isento de desafios e transformações. A agricultura convencional, historicamente dominante, encontra agora uma oposição significativa, impulsionada pelo avanço das práticas ecológicas adotadas pelos agricultores e pela crescente preocupação dos consumidores (LANES JUNIOR, 2013). Esse despertar para a necessidade de práticas agrícolas mais sustentáveis e produções ecologicamente equilibradas abre novas oportunidades no cenário agrícola. Uma dessas oportunidades está centrada no café orgânico, cujo mercado está em ascensão (MOREIRA et al., 2023). Pesquisas recentes indicam que a maioria dos consumidores está mobilizada para adquirir produtos orgânicos, levando em consideração suas vantagens e apelos ambientais (STOLZ, 2020). Nesse contexto, a promoção e divulgação desses produtos, destacando seus valores intrínsecos, como a questão ambiental, origem do produto e suas certificações, tornam-se fundamentais para atender a essa demanda crescente.

Além disso, há uma tendência global em busca de produtos com uma pegada ecológica, medida em termos de recursos naturais consumidos, emissões de gases de efeito estufa (GEE) produzidas no processo e outros impactos ambientais associados. O setor do agronegócio, incluindo a produção de café, emerge como uma das áreas mais promissoras para promover essa pegada ecológica através do mercado de carbono, reduzindo emissões de GEE e, simultaneamente, sequestrando carbono da atmosfera e armazenando-o no solo (REVISTA CAFEICULTURA..., 2021). Dados do Painel Intergovernamental das Mudanças Climáticas (2019) destacam que é possível estocar até 8,6 gigatoneladas de dióxido de carbono por ano nas terras cultiváveis e pastos do planeta. O agronegócio brasileiro, com sua alta mecanização,

tecnologias de agricultura de precisão e práticas de manejo de solo, está bem posicionado para liderar esse mercado em crescimento (REVISTA CAFEICULTURA..., 2021).

O presente trabalho tem como objetivo quantificar as emissões de carbono decorrentes do processo produtivo do café orgânico e, ao mesmo tempo, avaliar o sequestro de carbono ocorrido na lavoura durante o período compreendido entre agosto de 2022 e agosto de 2023. Essa análise meticulosa permitirá a realização de um balanço abrangente das emissões de gases de efeito estufa ao longo de todo o ciclo produtivo do café orgânico, ao passo que também proporcionará conhecimentos valiosos sobre o impacto positivo desse tipo de agricultura na captação de carbono atmosférico pela vegetação da lavoura. Logo compreender esses aspectos é crucial para a promoção da produção de café orgânico como uma alternativa ambientalmente responsável e sustentável, contribuindo assim para a construção de um cenário agrícola mais equilibrado ecologicamente.



## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

No referencial teórico, serão explorados os fundamentos essenciais para a compreensão do balanço de carbono no processo produtivo do café. Inicialmente, concentra-se no conceito de mudanças climáticas, fornecendo um contexto e um histórico relevantes. As mudanças climáticas tornaram-se uma preocupação global, destacando a necessidade premente de avaliar e mitigar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) provenientes de várias atividades humanas.

Posteriormente, são abordados os tópicos cruciais do Inventário de Emissões e do Programa Brasileiro do Protocolo GHG (Gases de Efeito Estufa), ressaltando a importância de avaliar e quantificar as emissões específicas do setor cafeeiro. Essas ferramentas desempenham um papel crucial na gestão ambiental, permitindo a identificação de áreas passíveis de melhorias e a implementação de práticas mais sustentáveis.

O balanço de carbono na cafeicultura é minuciosamente explorado como um componente vital nesta análise. Este processo envolve a avaliação completa das emissões de GEE associadas à produção de café, desde o plantio até a distribuição. Compreender e equilibrar essas emissões é fundamental para a construção de cadeias de produção mais sustentáveis e ambientalmente responsáveis.

À medida que se avança, são exploradas as alternativas mitigadoras de GEE na agricultura, buscando estratégias inovadoras para reduzir as emissões e promover práticas agrícolas mais amigáveis ao clima. A busca por soluções eficazes é imperativa, não apenas para atender às demandas crescentes do setor, mas também para garantir a resiliência do cultivo do café diante das mudanças climáticas em curso.

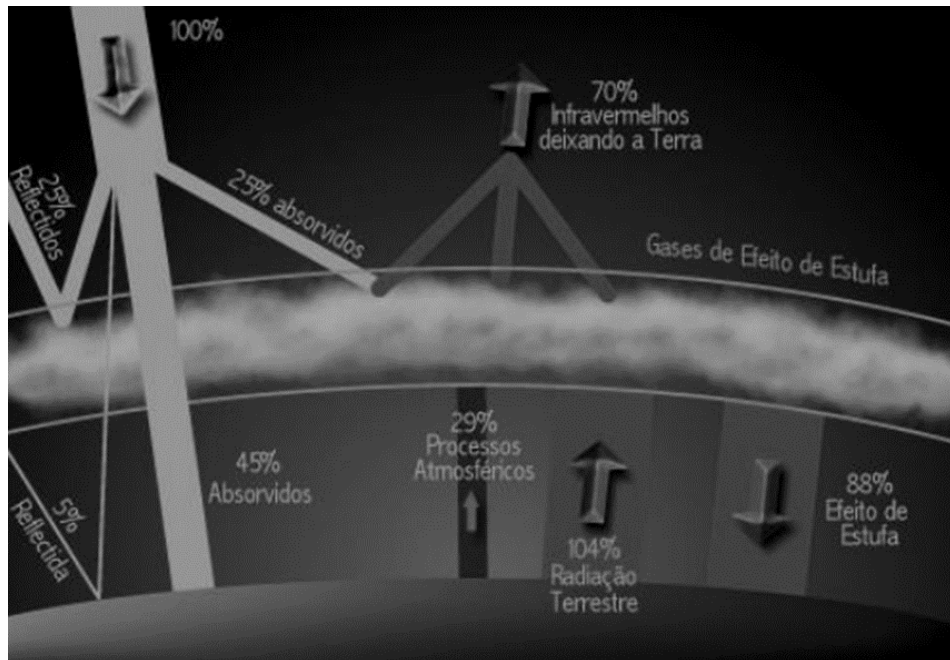
Por fim, é examinado o café orgânico como uma abordagem sustentável na produção cafeeira. Além de proporcionar uma visão sobre as práticas agrícolas orgânicas, considera-se como o cultivo orgânico pode contribuir para a redução das emissões de GEE e promover a sustentabilidade ambiental em toda a cadeia produtiva do café.

### **2.1 Mudanças climáticas e gases de efeito estufa**

As mudanças climáticas representam um dos desafios mais prementes enfrentados pela humanidade no século XXI. A compreensão de como os gases de efeito estufa (GEE) interagem com a atmosfera terrestre e contribuem para as alterações climáticas é fundamental para abordar essa questão. Gases de efeito estufa (GEE) são substâncias que absorvem e reemitem calor na atmosfera, contribuindo para o efeito estufa natural como mostra a Figura 1. No entanto, as

atividades humanas, como a queima de combustíveis fósseis e o desmatamento, têm aumentado as concentrações de GEE, resultando em mudanças climáticas globais (UNEP, 2022). Os principais GEE incluem o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>) e o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) (COSTA et al., 2006).

Figura 1 Efeito estufa



Fonte: USP (2009).

As emissões de gases de efeito estufa (GEE) têm origem em duas categorias distintas: biogênicas e antropogênicas. As emissões biogênicas resultam de processos naturais, como a atividade da vegetação, incêndios florestais espontâneos, erupções vulcânicas, tempestades de areia, dispersão de pólen, marés e a decomposição de matéria orgânica. Por sua vez, as emissões antropogênicas provêm de ações humanas, incluindo a queima de combustíveis fósseis, a incineração de resíduos sólidos, a extração de minérios, bem como os processos industriais e agropecuários (SOUZA et al., 2023).

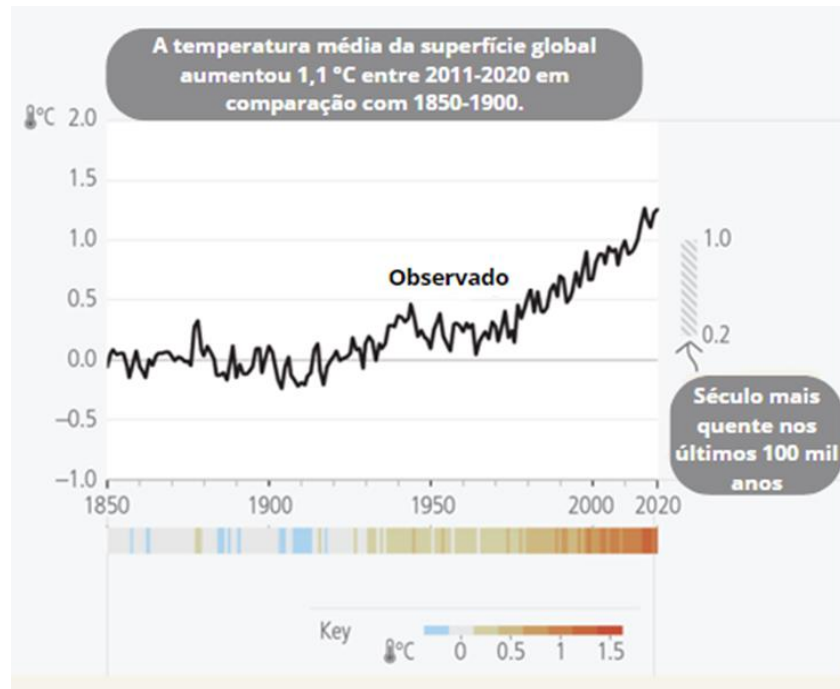
É importante situar as mudanças climáticas em um contexto histórico. Durante décadas, a questão climática não recebeu a devida atenção. Arrhenius (1896) já apresentava estudos sobre mudanças climáticas quando calculou o aumento da concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera devido atividades antropogênicas e previu um aumento potencial de 5 a 6 graus Celsius na temperatura global, porém foi somente a partir de conferências como a de Estocolmo em 1972, que a ação antrópica começou a ser reconhecida como uma causa das alterações climáticas (ESTOCOLMO, 1972). Mesmo assim, estudos climatológicos ainda não

eram prioritários nessa época. A conscientização sobre o impacto humano no clima foi gradual, culminando na primeira Conferência Mundial do Clima em 1979, que marcou o primeiro fórum internacional dedicado exclusivamente às mudanças climáticas (AGRAWALA, 1998).

Para abordar as mudanças climáticas, organizações e grupos consultivos foram criados. O Grupo Consultivo sobre Gases do Efeito Estufa (AGGG) surgiu em 1986, destacando a crescente preocupação global com os GEE (VELTRONE, 2017). Além disso, em 1988, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente e a World Meteorological Organization uniram esforços para criar o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). Essa iniciativa foi crucial para consolidar o entendimento científico e político sobre as mudanças climáticas e seus impulsionadores, incluindo os GEE (VELTRONE, 2017).

Graças aos debates e conferências do passado, o tema das mudanças climáticas é agora amplamente aceito em escala global. O reconhecimento da importância dos GEE na amplificação dessas mudanças é um marco significativo nessa trajetória. A pesquisa e o entendimento sobre os GEE continuam a crescer, impulsionando investigações mais aprofundadas sobre suas fontes, impactos e estratégias de mitigação, uma dessas pesquisas recentes concluíram que as atividades antropogênicas, notadamente através da emissão de gases de efeito estufa, têm incontestavelmente desencadeado o fenômeno do aquecimento global, resultando em um aumento da temperatura média global da superfície de 1,1°C em relação ao período de referência de 1850-1900 durante o intervalo temporal de 2011-2020, Figura 2 (IPCC, 2023).

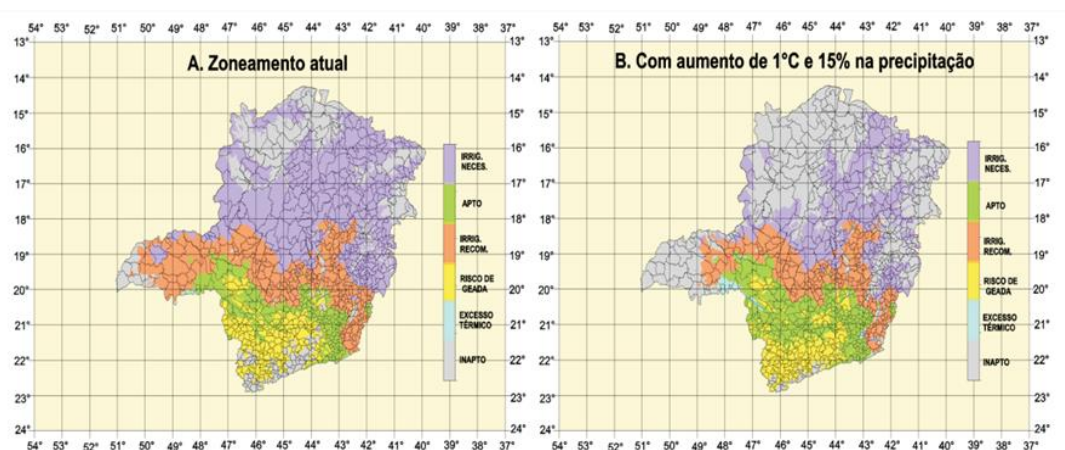
Figura 2 Temperatura na superfície da terra



Fonte: Adaptado de IPCC AR6 (2023).

Em um contexto regional, a pesquisa conduzida por Assad et al. (2004), um aumento na temperatura média anual poderia resultar em um colapso na produção de café em Minas Gerais. Atualmente, apenas 24,1% da área é considerada inapta para o cultivo da cultura. No entanto, em um cenário de mudanças climáticas, com um aumento de 1°C na temperatura média anual e 15% na precipitação, estima-se que 43,3% da área total se tornaria inadequada para a cultura do café como mostra a comparação a seguir.

Figura 3 Zoneamento atual do café para o Estado de Minas Gerais (A); Zoneamento considerando aumento de 1°C na temperatura e 15% na precipitação pluvial (B)



Fonte: Assad et al. (2004).

Para tentar conter esse avanço diversos tratados foram firmados, entre eles podemos destacar o Protocolo de Quioto, datado de 1997, que estabeleceu os parâmetros das emissões que os países desenvolvidos deveriam cumprir até 2012 (SENADO, 2004). Por sua vez, o Acordo de Paris, adotado em 2015, comprometeu todas as nações do mundo a intensificar seus esforços para limitar o aumento da temperatura global a apenas 1,5°C acima dos níveis pré-industriais, ao mesmo tempo em que ampliaram o financiamento para ações de combate às mudanças climáticas (EULER, 2016).

Se nenhuma medida significativa de mitigação de mudanças climáticas for tomada para conter as emissões, ou protocolos mencionados anteriormente respeitados é provável que as consequências sejam extremamente adversas e amplamente prejudiciais para o planeta e a humanidade.

## 2.2 Inventário de emissões e Programa Brasileiro Protocolo GHG

O Brasil é o 5º maior emissor de GEE do mundo, com total de emissões brutas atingindo 2,16 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (tCO<sub>2</sub>eq) em 2020, sendo a agropecuária e a mudança de uso da terra responsáveis por aproximadamente 73% dos totais de emissões líquidas, sem considerar o carbono estocado (SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA, 2021). A seguir é apresentado o total de emissões líquidas observadas no Brasil nos anos de 2019 e 2020, Figura 4.

Figura 4 Emissões de GEE no Brasil 2019 e 2020 em tCO<sub>2</sub>eq

| SETORES                            | 2019                 | %   | 2020                 | %   |
|------------------------------------|----------------------|-----|----------------------|-----|
| Agropecuária                       | 562.987.702          | 29% | 577.022.998          | 27% |
| Energia                            | 412.466.747          | 21% | 393.705.260          | 18% |
| Processos Industriais              | 99.472.616           | 5%  | 99.964.389           | 5%  |
| Resíduos                           | 90.399.714           | 5%  | 92.047.812           | 4%  |
| Mudança de Uso da Terra e Floresta | 806.996.124          | 41% | 997.923.296          | 46% |
| <b>Total Emissões Brutas</b>       | <b>1.972.322.903</b> |     | <b>2.160.663.755</b> |     |

Fonte: SEEG (2021).

Com a recente preocupação com os efeitos das mudanças climáticas, decorrentes de emissões GEE, várias iniciativas vêm sendo propostas para a redução desses gases. Diante disso, a elaboração de inventários de gases de efeito estufa (GEE) constitui-se em elemento essencial para uma adequada gestão de emissões (SANTOS, 2016).

O inventário de emissões de gases de efeito estufa é um registro das emissões de gases que contribuem para o aquecimento global elaborado por empresas, governos ou outras organizações para avaliar sua pegada de carbono e tomar medidas para reduzir suas emissões (SENRA, 2023). Existem diversas metodologias para inventariar as emissões de GEE, sendo destacada a metodologia adaptada pela FGV para o cenário brasileiro, conhecida como “O Programa Brasileiro GHG Protocol”. Seu objetivo é proporcionar instrumentos e padrões de qualidade internacional para a contabilização das emissões e publicação dos inventários (FGV CES, 2011).

### **2.3 Balanço de carbono na cafeicultura**

Segundo Giongo e Angelotti (2022), “O balanço de C pode ser compreendido como a diferença entre todas as entradas e as saídas de C, normalmente apresentado como  $\text{CO}_2\text{eq}$ , transformando as emissões dos outros gases ( $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{CH}_4$ ) em equivalentes de  $\text{CO}_2$ ”. Assim, o balanço de carbono em uma propriedade cafeicultora refere-se à avaliação das emissões de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e a capacidade de sequestro de carbono do sistema de produção de café.

Para fim de compreensão segue um exemplo prático de balanço de carbono na cafeicultura. Em estudos recentes de emissão na cafeicultura, as principais fontes de emissões de gases de efeito estufa (GEE) totalizaram 2,13 toneladas de dióxido de carbono equivalente por hectare ( $\text{tCO}_2\text{eq ha}^{-1}$ ). Essas emissões podem ser atribuídas a diferentes fatores, com o consumo de adubos nitrogenados representando uma parcela significativa, contribuindo com  $1,01\text{tCO}_2\text{eq ha}^{-1}$  (47,5% das emissões totais), seguido pelo uso de calcário com  $0,65\text{tCO}_2\text{eq ha}^{-1}$  (30,8%), a queima de combustíveis fósseis com  $0,35\text{tCO}_2\text{eq ha}^{-1}$  (16,9%), o consumo de gás (OLIVEIRA et al., 2015).

Já para o sequestro de dióxido de carbono equivalente, estudo recente mostrou que uma lavoura de café Catuaí com 3,5 anos de idade, sequestrou cerca de  $15,15\text{tCO}_2\text{eq ha}^{-1}$ , ou  $4,13\text{tCO}_2\text{eq ha}^{-1}$  por ano (DASILVA RIBEIRO et al., 2022).

Assim, em um possível balanço dos exemplos acima levando em consideração que o balanço deve ser feito anualmente, teríamos um saldo positivo de 2 toneladas de dióxido de

carbono equivalente por hectare ano ( $tCO_2eq\ ha^{-1}$ ) estocado, mesmo depois de descontar os valores das emissões ocorridas no processo produtivo.

## **2.4 Alternativas mitigadoras de GEE na agricultura e no café orgânico**

Em um mundo cada vez mais consciente das ameaças das mudanças climáticas, a busca por medidas mitigadoras de gases de efeito estufa se tornou uma prioridade incontestável, principalmente na agricultura. Tais ações são fundamentais para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE), com foco no setor de agricultura, florestas e uso do solo (AFOLU). Este setor, segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023), apresenta um potencial notável para a mitigação de GEE devido à sua capacidade de absorver carbono atmosférico através do crescimento de plantas.

Dentre as medidas mitigadoras que merecem destaque, destacam-se práticas específicas que podem ser aplicadas na agricultura. O manejo adequado do solo e a redução no uso de fertilização mineral são passos fundamentais na redução das emissões de GEE (ANGELOTTI et al., 2011). Além disso, estratégias de manejo florestal, redução de calagem com o aumento de adubação verde e outras fontes orgânicas têm demonstrado eficácia na diminuição das emissões, contribuindo para a construção de um ambiente agrícola mais sustentável.

Neste contexto, uma lavoura de café conduzida de forma orgânica pode contribuir para mitigação visto que, o cultivo de café orgânico envolve práticas agrícolas sustentáveis, como o uso de adubos naturais, compostagem e técnicas de manejo de solo que reduzem a necessidade de fertilizantes sintéticos e pesticidas. Isso resulta em menos emissões de gases de efeito estufa associadas à produção de insumos químicos e ao consumo de combustíveis fósseis para a sua aplicação.

## **3 METODOLOGIA**

O trabalho consistiu em três etapas principais:

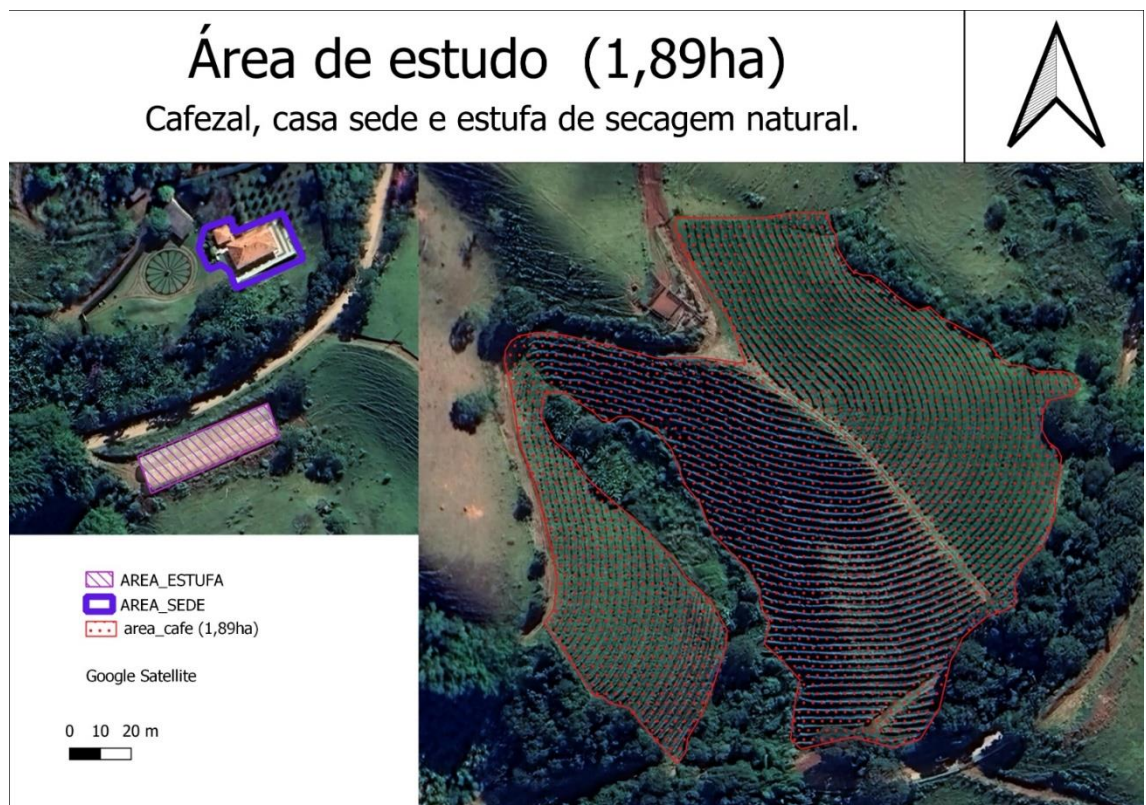
- a) Coleta de dados em campo (diâmetro da base do cafeeiro) para cálculo de parâmetros agronômicos (Biomassa) e posteriormente conversão em carbono e  $tCO_2eq\ ha^{-1}$  sequestrado e amostra de solo coletado no período para estimativa de carbono no solo;
- b) Coleta de dados de fontes geradoras de GEE do processo produtivo (fertilizantes, gasolina e etc.) para estimativa de emissão de  $tCO_2eq\ ha^{-1}$ ;
- c) Balanço de carbono equivalente no período de agosto 2022 a agosto 2023.



### 3.1 Área de estudo

O estudo foi conduzido em um sistema de café (*Coffea arabica*) orgânico, localizado no município de Maria da Fé, Minas Gerais. A área de estudo é uma área arrendada com aproximadamente 1,89 ha, sendo sua sede denominada Sítio do Pica-pau situada nas coordenadas geográficas 22°18'54.79"S e 45°24' 44.04"O como mostra a Figura 5 com o mapa de estudo abaixo. Para o presente estudo foi analisado todo o processo produtivo envolvido no café, da adubação anual e correção do solo até a secagem natural em estufa.

Figura 5 Área de estudo



Fonte: Autor (2023).

O clima é caracterizado como mesotérmico brando tipo Cwb - Clima subtropical de altitude, com inverno seco e verão ameno. A temperatura média do mês mais quente é inferior a 22°C de acordo com a classificação de Köppen. A precipitação média anual varia de 1648mm a 1748mm (IDE-SISEMA, 2023), altitude de 1276m e solo classificado como Argissolo vermelho distrófico.



A área de estudo consiste em uma plantação de café orgânico de 2,5 anos de idade, com um espaçamento de plantio de 2,5 x 0,55 metros e uma densidade de 7273 plantas por hectare. A coleta de dados de campo foi realizada como parte de uma pesquisa quantitativa, alinhando-se aos estudos anteriores de Da Silva Meirelles et al. (2019).

### **3.2 Estimativa de emissões de tCO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup> anual**

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 FGV, é a metodologia mais adotada nacionalmente. 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. A customização da ferramenta de cálculo leva em consideração fontes específicas de emissão associadas a essas operações.

Outro aspecto central é a categorização das emissões conforme os escopos definidos pelo GHG Protocol. O Escopo 1 refere-se a emissões diretas sob controle direto da organização, enquanto o Escopo 2 abrange emissões indiretas provenientes da aquisição de energia elétrica e térmica. O Escopo 3 engloba todas as outras emissões indiretas não contempladas no Escopo 2, exigindo uma visão abrangente das cadeias de valor e operações associadas (WORLD RESOURCES INSTITUTE - WRI, 2015).

Os limites operacionais e o consumo de insumos do presente trabalho estão divididos conforme apresentado em Tabela.

Tabela 1 Limites operacionais e organizacionais do processo produtivo cafezal para área total.

| Fonte de emissão                   | Escopo | Quantidade  | Qt. Anual              |
|------------------------------------|--------|-------------|------------------------|
| Adubação nitrogenada (N-ORG 15%)   | 1      | 4000(kg)    | 4t                     |
| Calcário                           | 1      | 3750(kg)    | 3,75t                  |
| Bokashi (3%denitrogênio)           | 1      | 3500(kg)    | 3,5t                   |
| Roçadeira(gasolina)                | 1      | 160(Litros) | 160”L”                 |
| Veículo dentro da propriedade      | 1      | 1,5(km/dia) | 390km                  |
| Energia elétrica                   | 2      | 30(kwh)     | 360(kwh)/<br>0,36(Mwh) |
| Veículo para transporte de pessoas | 3      | 15(km/dia)  | 3900km                 |

Fonte: Autor (2023)

O resultado das emissões se manifesta de duas maneiras distintas: antropogênicas e biogênicas. No âmbito biogênico, as fontes estão intrinsecamente relacionadas ao uso do solo, abrangendo emissões provenientes dos solos, decomposição de matéria orgânica morta, adubação orgânica e queimadas de resíduos agrícolas. Importante ressaltar que tais emissões biogênicas são consideradas nulas, representando um equilíbrio no ciclo natural do carbono (WORLD RESOURCES INSTITUTE, 2015).

Já no contexto das emissões antropogênicas, o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é liberado na atmosfera proveniente de diversas fontes. Entre elas, destaca-se a queima de combustíveis fósseis, como carvão, gás natural e petróleo. Além disso, o uso de corretivos agrícolas, como calcário e corretivos minerais, também contribui para a emissão de CO<sub>2</sub> (WRI, 2015).

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 (WRI, 2015):

$$N_2OAD.ORG = QORG \times Nad \times (1 - FRACGASM) \times EF1 \times 44/28$$

Em que:

N<sub>2</sub>OAD.ORG é a emissão de óxido nitroso associada à aplicação de fertilizantes orgânicos (Kg N<sub>2</sub>O/ Kg de adubo aplicado);

QORG é a quantidade de adubo orgânico aplicado (Kg);

Nad é o percentual de nitrogênio do adubo orgânico (%);

FRACGASM é a fração do N aplicado que volatiliza na forma de NH<sub>3</sub> e NO<sub>x</sub> (%);

EF1 é o fator de emissão (%).

44/28 é a Conversão de N para N<sub>2</sub>O

Para corretivo de solo temos (WRI, 2015):

CO<sub>2</sub> CALCÁRIO= (QCalcítico x FECalcítico + QDolomítico x FEDolomítico) x 44/12

Em que:

CO<sub>2</sub>CALCÁRIO é a emissão de CO<sub>2</sub> associada à aplicação de calcário no solo (kg CO<sub>2</sub>);

QCALCÍTICO é a quantidade anual de calcário calcítico (CaCO<sub>3</sub>) aplicado ao solo por ano15 (kg);

QDOLOMÍTICO é a quantidade anual de calcário dolomítico (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) (Mg) aplicado ao solo por ano16 (kg);

FE é o fator de emissão – conteúdo de carbono no calcário (%);

44/12 é o fator de conversão de C para CO<sub>2</sub> (adimensional).

Para as demais emissões (consumo de energia elétrica, uso de combustível e etc.) foi utilizado a ferramenta GHG protocol Brasil, no qual os resultados das emissões são feitos automaticamente pela ferramenta, os resultados apresentados em tCO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup> (FGVCES, 2022).

### 3.3 Estimativa de sequestro de tCO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup> anual

#### 3.2.1 Amostragem do cafezal para estimativa de carbono na lavoura

Sampieri, Callada e Lucio (2013) Apud Oliveira Júnior (2022) indicam que a coleta de dados em abordagens quantitativas envolve a utilização de instrumentos previamente validados em estudos anteriores ou a proposição de novos instrumentos com base na literatura científica, os quais devem ser submetidos a testes e ajustes, quando necessário.

Para o inventário, foi realizada uma amostragem casual simples; para tal, foram demarcadas aleatoriamente 4 parcelas retangulares de 20 x 30 m (600 m<sup>2</sup>) Figura 6 com base no cálculo de intensidade amostral abaixo, buscando um erro de amostragem abaixo de 10%.

$$\text{Intensidade amostral}(n) = \frac{t^2 * CV^2(\%)}{E^2(\%) + t^2 * CV^2(\%) / N}$$

Em que:

t: t de student

CV: Coeficiente de variação

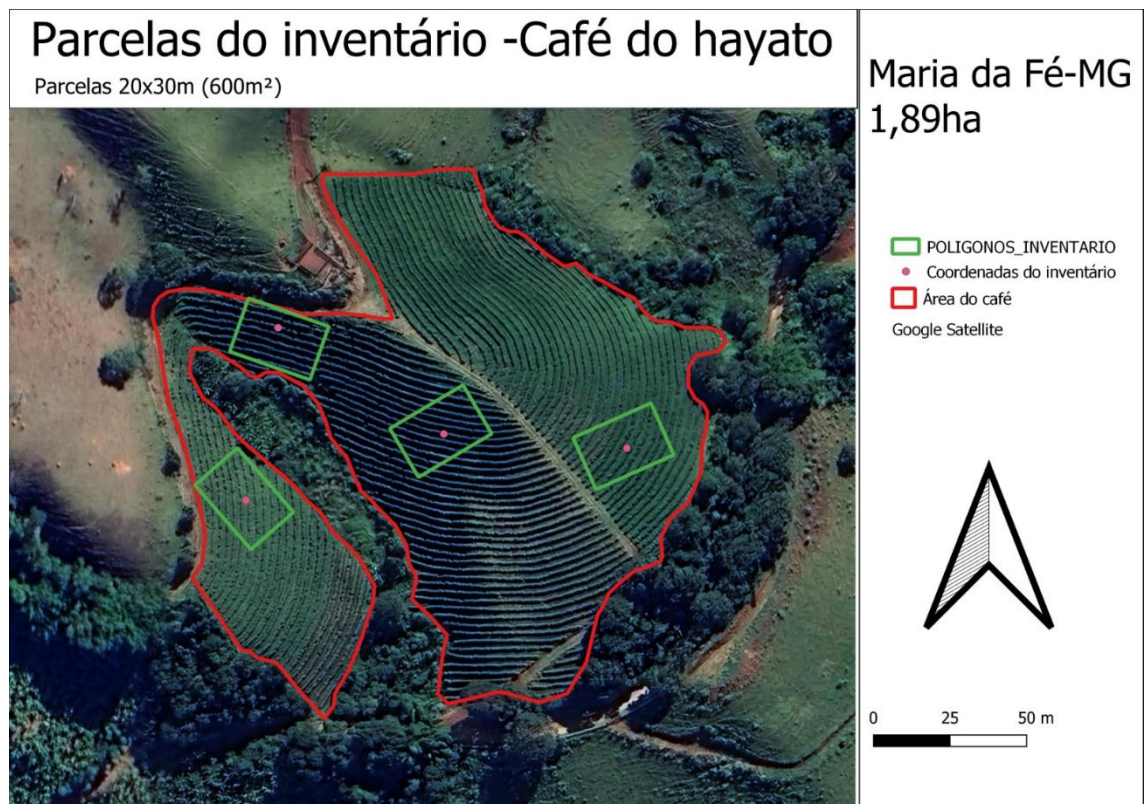
E: Erro de amostragem admissível

N: Número de parcelas cabíveis na população.

Foi realizada a medição de diâmetro da base do cafeeiro. O registro das coordenadas geográficas foi feito no ponto central, para demarcar as extremidades foram utilizadas estacas de bambu. Nas parcelas foram coletados os seguintes dados:

- Número de indivíduos;
- Circunferência da base.

Figura 6 Parcelas do inventário



Fonte: Autor (2023).

Com os dados do inventário, realizou-se a quantificação da biomassa seca, a estimativa do carbono armazenado na biomassa e a conversão do carbono em dióxido de carbono equivalente por hectare anual.

Para o inventário da biomassa total do cafezal, recorreu-se a métodos indiretos de quantificação, utilizando um modelo alométrico com o propósito de estimar a biomassa total. Para isso, empregou-se a equação derivada dos estudos de Da Silva Meirelles et al (2019) para a mesma variedade de café (Catucaí).

$$Y = -1,688 + 1,392 * Db$$

$$R^2 = 85,0\%$$

Em que:

Y=Biomassa seca total;

Db= Diâmetro da Base do cafeeiro.

Com o resultado estimado da Biomassa, foi convertido a biomassa em carbono onde, a estimativa do carbono armazenado na biomassa foi calculada multiplicando a biomassa seca pelo fator 0,5, conforme sugerido pelo IPCC (2006). Este fator leva em consideração que a biomassa seca geralmente contém cerca de 50% de carbono.

Já para a transformação do estoque de carbono (C) em tonelada de dióxido de carbono equivalente por hectare ( $tCO_2eq\ ha^{-1}$ ) foi realizada a multiplicação do carbono pelo fator 3,67 e convertido para 1 hectare. Esse valor é obtido pelo o ajuste de massa molecular do dióxido de carbono ( $CO_2$ ) de 44 pela massa do carbono (C), a qual é igual a 12.

Por último e dividido o dióxido de carbono equivalente por hectare ( $tCO_2eq\ ha^{-1}$ ) pela idade da lavoura, obtendo-se o  $tCO_2eq\ ha^{-1}$  anual, ou também chamado de incremento médio anual.

### 3.2.2 Amostragem de solo para estimativa de carbono no solo

Para a estimativa de carbono no solo foram coletadas duas amostras de solo, coletadas de forma composta na profundidade entre 0-20cm no período de 1 ano. A amostra composta consiste na coletada de 15-20 amostras, escolhidos ao acaso, ao percorrer em zigue-zague a gleba uniforme. As amostras foram misturadas em um balde, em seguida, retirou-se 500g de terra, e enviadas para análise em laboratório.

O solo da região é caracterizado como Argissolo vermelho distrófico e densidade média de  $1,4g.cm^{-3}$ . A primeira amostra foi feita no dia 01/08/2022 e a segunda amostra coletada 1 ano após como mostra as imagens 7 e 8 abaixo, o incremento de matéria orgânica de um ano para o outro foi utilizado para mostrar o incremento de carbono obtido na lavoura.

Figura 7 Foto da amostra de solo 2022

| Identificação | pH  |       | P-rem  | P                     | K   | Ca   | Mg   | Al                       | H+Al | T    | V   | m        | MO   |
|---------------|-----|-------|--------|-----------------------|-----|------|------|--------------------------|------|------|-----|----------|------|
|               | H2O | CaCl2 | (mg/L) | (mg/dm <sup>3</sup> ) |     |      |      | (Cmolc/dm <sup>3</sup> ) |      |      | (%) | (Dag/kg) |      |
| CAFÉ ORGÂNICO | 4,9 | 4,3   | 13,99  | 4,82                  | 102 | 2,57 | 0,68 | 0,69                     | 5,28 | 8,79 | 40  | 16,42    | 2,23 |

Fonte: Autor (2023).

Figura 8 Foto da amostra de solo 2023

| Identificação | pH   |       | P-rem  | P                     | K   | Ca   | Mg   | Al                       | H+Al | T    | V    | m        | MO   |
|---------------|------|-------|--------|-----------------------|-----|------|------|--------------------------|------|------|------|----------|------|
|               | H2O  | CaCl2 | (mg/L) | (mg/dm <sup>3</sup> ) |     |      |      | (Cmolc/dm <sup>3</sup> ) |      |      | (%)  | (Dag/kg) |      |
| CAFÉ ORGÂNICO | 5,41 | 4,81  | 15,93  | 4,82                  | 124 | 2,61 | 0,66 | 0,24                     | 3,43 | 7,02 | 51,2 | 6,25     | 3,84 |

Fonte: Autor (2023).

Foi determinado o carbono presente no solo a partir do teor de Matéria orgânica (MO) apresentada na amostra de solo, para tal converteu-se os teores de MO para carbono, a conversão de Matéria orgânica (MO) em tCO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup> do solo é realizada da seguinte maneira:

- Conversão da unidade de medidas da amostra de solo de dag/kg para t/ha;
- Conversão da matéria orgânica em carbono orgânico pelo fator de Van Bemmelen de 1,724;
- Conversão de carbono em carbono equivalente pela multiplicação pelo fator de 3,67, obtendo-se o tCO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup> incrementado no solo.

### 3.4 Balanço do tCO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup> anual

O balanço de carbono equivalente foi determinado através da diferença entre o sequestro de carbono em tCO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup> no solo entre a camada de 0-20cm e na biomassa do cafezal, pelas emissões correspondentes de todo o processo produtivo. O balanço é feito para o período de um ano, entre agosto de 2022 e agosto de 2023.

É importante salientar que as emissões biogênicas são contabilizadas no final, porém de forma separada segundo as diretrizes do GHG Protocol (WRI, 2015)

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Estimativa de sequestro de $tCO_2eq\ ha^{-1}$ na biomassa e no solo

O inventário resultou no estoque total de  $44128,33 \pm 4339,017$ (Kg) de biomassa estocado na lavoura, que convertido em Kg/ha gerou  $23348,32 \pm 2295,776$ (Kg/ha). A análise estatística do inventário está apresentada na Tabela 2 e 3 abaixo.

Tabela 2 Resultado do inventário da biomassa cafezal

| <b>Informação do Inventário</b>  | <b>Resultados</b> |
|----------------------------------|-------------------|
| Área total do café (ha)          | 1,89              |
| Área total das parcelas (ha)     | 0,06              |
| Precisão requerida               | 10%               |
| Nível de probabilidade           | 90%               |
| Intensidade amostral             | 2,096(parcelas)   |
| N de parcelas alocadas(n)        | 4                 |
| N de parcelas cabíveis na Pop(N) | 31,5              |
| Área total amostrada(ha)         | 0,24              |

Fonte: Autor (2023).

Tabela 3 Resultado do inventário da biomassa cafezal

| <b>Estimativa</b>  | <b>Resultado</b>             |
|--|------------------------------|
| Média estimada   | 1400,899(kg)                 |
| Variância da amostra ( $S^2$ )                           | 8583,755                     |
| Desvio Padrão (S)  | 92,64856(kg)                 |
| Coefficiente de Variação (CV)                            | 6,61%                        |
| Erro-padrão da média (S)                                 | 43,28324(kg)                 |
| Estimativa da Biomassa total da população(1,89ha) (Y)    | 44128,33(kg)                 |
| O erro de amostragem absoluto a 95% de probabilidade (E) | 137,7466(kg)                 |
| O erro de amostragem absoluto (E%)                       | 9,833%                       |
| Intervalo de confiança por parcela (I.C parcela)         | $1400,899 \pm 137,747$ (kg)  |
| Intervalo de confiança por hectare (I.C ha)              | $23348,32 \pm 2295,776$ (kg) |
| Intervalo de confiança de biomassa da população (total)  | $44128,33 \pm 4339,017$ (kg) |

Fonte: Autor (2023).

A conversão de biomassa para carbono conforme o fator 0,5 sugerido pelo IPCC (2006) resultou em  $21939,88 \pm 2169,5085$  Kg de carbono total ou  $11608,4 \pm 1147,888$  Kg por hectare de carbono total. Por fim, em carbono equivalente temos  $80519,36$  kg de  $\text{CO}_2\text{eq}$  ou  $8,0519\text{t}$   $\text{CO}_2\text{eq}$  estocado na lavoura total, por hectare temos  $4,2603$   $\text{tCO}_2\text{eq ha}^{-1}$ . Por fim dividindo o resultado pela idade da lavoura, obtemos um incremento médio anual de  $1,704$   $\text{tCO}_2\text{eq ha}^{-1}$ .

Ao comparar os resultados  $4,2603$   $\text{tCO}_2\text{eq ha}^{-1}$  obtidos deste estudo com as pesquisas conduzidas por De Oliveira Junior et al. (2022), que resultaram em estimativas de  $15,15$   $\text{tCO}_2\text{eq ha}^{-1}$  na lavoura com 3,5 anos, e Da Silva Bortolotti (2013), que obteve resultados de  $33,77$   $\text{tCO}_2\text{eq ha}^{-1}$  na lavoura aos 8 anos, observa-se que os estoques de carbono equivalente na lavoura de café orgânico foram inferiores. Tal disparidade pode ser explicada pela diferença na idade das lavouras, na densidade de plantio e na cultivar utilizada.

Comparando também os resultados com as florestas plantadas de eucalipto, que, aos 3 anos de idade, possuem  $43,06$   $\text{tCO}_2\text{eq ha}^{-1}$  (SANTANA, 2008), o valor de carbono equivalente armazenado é significativamente menor. No entanto, ao analisarmos a área plantada com café no sul de Minas, que totaliza  $426.146$  hectares (MOREIRA, 2010), em comparação com a área de eucalipto de  $21.581,16$  hectares (BORGES, 2018), o estoque de carbono equivalente por hectare no sul de Minas, na área de café, é consideravelmente maior do que na área de eucalipto, devido à extensão total plantada.

No solo o incremento de matéria orgânica de 2022 para 2023 foi de  $1,61$  dag/kg ( $1,61\%$ ) até profundidade de  $20\text{cm}$ , que convertido em t/ha, temos  $45,080$  toneladas por hectare para um solo com densidade de  $1,4\text{g/cm}^3$ . Como a área da lavoura é de  $1,89$  hectares temos um incremento de  $85,2012$  toneladas de matéria orgânica. Convertendo os valores pelo fator Van Bemmelen de  $1,724$ , resultou em  $49,42$  toneladas de carbono.

Finalmente, em termos de carbono equivalente no solo na camada de  $0\text{-}20\text{cm}$ , registramos um acréscimo de  $181,3714$  toneladas de  $\text{CO}_2$  total ou  $95,963$   $\text{tCO}_2\text{eq ha}^{-1}$  no solo devido às práticas agrícolas orgânicas em apenas um ano. Estudos, como o conduzido por Da Silva Bortolotti (2013) indicaram um acumulado de estoque de  $156,342$   $\text{tCO}_2\text{eq ha}^{-1}$  em sistemas de café. Ao comparar esses resultados, observa-se uma certa proximidade entre eles; no entanto, é importante ressaltar que o resultado deste trabalho foi obtido em apenas 1 ano, ou seja em apenas 1 ano foi incrementando quase  $50$  toneladas de matéria orgânica no solo, ao contrário do resultado apresentado por Da Silva Bortolotti (2013), que abrangeu um período acumulado de 8 anos de plantio de café. A modificação no uso do solo e a adoção de práticas de agricultura regenerativa contribuíram para um aumento significativo nos teores de matéria orgânica do solo, o que explica o rápido incremento de carbono no solo.



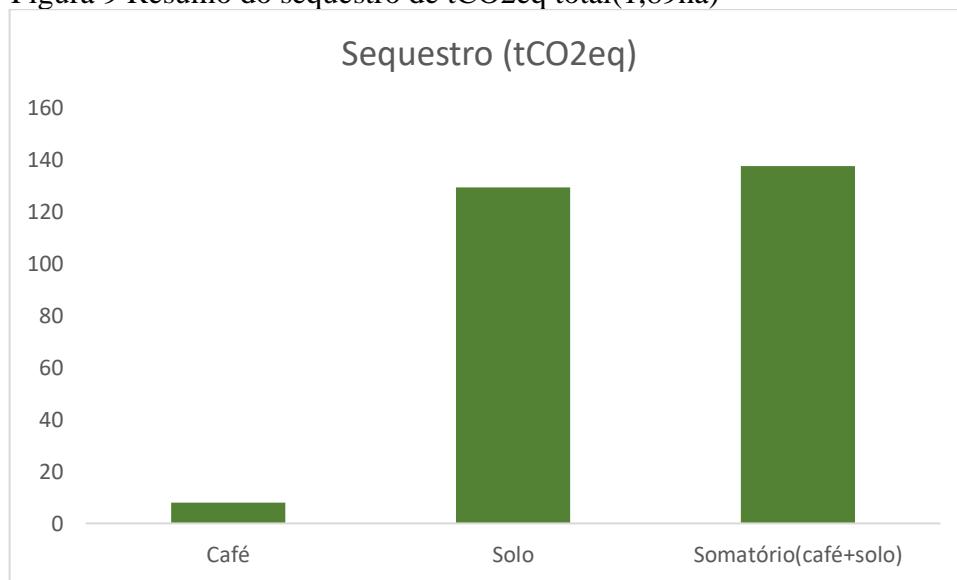
Resumindo, o sequestro de carbono equivalente total é detalhado na Tabela 4 e Figura 9, já o sequestro de carbono equivalente por hectare anual é detalhado na tabela 5.

Tabela 4 Sequestro de carbono total na lavoura

| <b>Fonte de sequestro</b> | <b>Estimativa total em 1,89 hectares (t CO<sub>2</sub>eq)</b> |
|---------------------------|---|
| Solo                      | 181,3714  |
| Lavoura                   | 8,052   |
| <b>Total</b>              | <b>189,4234</b>   |

Fonte: Autor (2023).

Figura 9 Resumo do sequestro de tCO<sub>2</sub>eq total(1,89ha)



Fonte: Autor (2023).

Tabela 5 Sequestro de carbono por hectare na lavoura e no solo no período de 1 ano

| <b>Fonte de sequestro</b>  | <b>Estimativa (tCO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>ano)</b> |
|--|--|
| Incremento médio anual do solo   | 95,963   |
| Incremento médio anual da Lavoura de café<br>(Valor t CO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup> / idade lavoura) | 1,704  |
| <b>Total</b>   | <b>97,667</b>  |

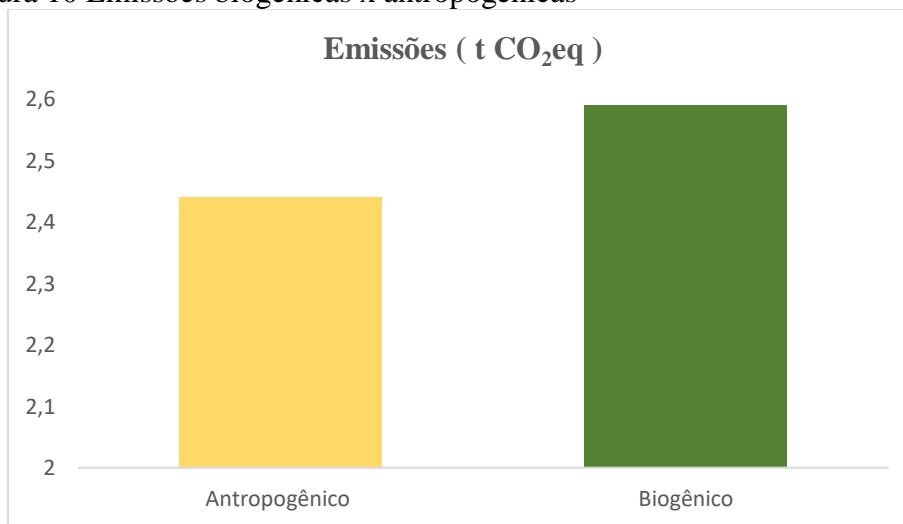
Fonte: Autor (2023).

#### 4.2 Estimativas de emissões de tCO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup> anual do processo

A estimativa de emissão total de GEE durante o período entre agosto de 2022 a agosto de 2023 foi de 5,03 tCO<sub>2</sub>eq. Em hectares temos, 2,6613 tCO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>. Contudo se separamos por emissão antropogênica e biogênica obtemos os seguintes resultados, Figura 10:

- Emissão biogênica total de 2,5905 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (51,5% do total de emissões), ou 1,37 tCO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>.
- Emissão antropogênica de 2,4394 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (48,5% do total de emissões), ou 1,29 tCO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>.

Figura 10 Emissões biogênicas x antropogênicas



Fonte: Autor (2023).

O resumo por setor é apresentado nas tabelas 6, 7 e 8:

Tabela 6 Emissões total (1,89ha) de Escopo 1 desagregadas por categoria

| <b>Categoria</b>              | <b>Emissões tCO<sub>2</sub>eq</b> | <b>Emissões de CO<sub>2</sub>eq<br/>biogênico</b> |
|-------------------------------|-----------------------------------|---|
| Combustão móvel               | 0,053                             | 0,014   |
| Combustão estacionária        | 0,262                             | 0,068   |
| Atividades agrícolas          | 4,174                             | 2,374   |
| Total de emissões Escopo<br>1 | 4,489                             | 2,456   |

Fonte: Autor adaptado de GHG protocol Brasil (2022).

Tabela 7 Emissões total (1,89ha) de Escopo 2 desagregadas por categoria

| <b>Abordagem baseada na localização</b>     | <b>Emissões tCO<sub>2</sub>eq</b> |
|---|-----------------------------------|
| Aquisição de energia elétrica               | 0,015                             |
| Total de emissões<br>Escopo 2 (localização) | 0,015                             |

Fonte: Autor adaptado de GHG protocol Brasil (2022).

Tabela 8 Emissões total (1,89ha) de Escopo 3 desagregadas por categoria

| <b>Categoria</b>                            | <b>Emissões<br/>tCO<sub>2</sub>eq</b> | <b>Emissões de<br/>tCO<sub>2</sub>eq biogênico</b> |
|---|---------------------------------------|--|
| Deslocamento de funcionários(casa-trabalho) | 0,530                                 | 0,135  |
| Total de emissões Escopo 3                  | 0,530                                 | 0,135  |

Fonte: Autor adaptado de GHG protocol Brasil (2022).

Ao comparar os resultados com os estudos de Oliveira Junior et al. (2022), que apresentaram 5,77 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente por hectare para suas lavouras, e os estudos do Imaflora (2021), que registraram, em média, 3,09 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente por hectare em suas fazendas, observamos resultados satisfatórios. No entanto, é crucial ressaltar que, neste

trabalho, as emissões antropogênicas representam 2,4394 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente ou 1.29068tCO<sub>2</sub>eqha<sup>-1</sup>, o que é 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. Com base nisso, podemos concluir que uma lavoura orgânica, quando comparada a lavouras de café tradicionais, emite em média 139% menos gases de efeito estufa decorrentes de suas atividades.

#### 4.3 Balanço de tCO<sub>2</sub>eq total e tCO<sub>2</sub>eqha<sup>-1</sup> anual

O balanço do carbono demonstrou que as lavouras de café aos 2,5 anos sequestraram mais CO<sub>2</sub>eq do que emitiram como é apresentado na tabela 9 a seguir. O saldo referente à área total foi de 186,984 tCO<sub>2</sub>eq.

Tabela 9 Resumo balanço de tCO<sub>2</sub>eq para área total (1,89ha)

|  | <b>Sequestro<br/>(tCO<sub>2</sub> eq)</b> | <b>Estimativa<br/>Antropogênico(tCO<sub>2</sub>eq)</b> | <b>Estimativa Biogênico<br/>(tCO<sub>2</sub> eq)</b> |
|--|---|--|--|
| Café                                   | 8,052                                     | 2,4394   | 2,5905   |
| Solo                                   | 181,3714                                  | 0  | 0  |
| Somatório                              | 189,4234                                  | 2,4394   | 2,5905   |
| Balanço<br>(tCO <sub>2</sub> eq total) | -   | <b>186,984</b>   | 2,5905   |

Fonte: Autor (2023).

O balanço do carbono por hectare é apresentado na Tabela 10 abaixo. O saldo referente à área total foi de 98,6984 tCO<sub>2</sub>eqha<sup>-1</sup>.

Tabela 10 Resumo balanço de tCO<sub>2</sub>eqha<sup>-1</sup>

|   | <b>Sequestro</b><br>(tCO <sub>2</sub> eqha <sup>-1</sup> ) | <b>Estimativa Antropogênico</b><br>(tCO <sub>2</sub> eqha <sup>-1</sup> ) | <b>Estimativa Biogênico</b><br>(tCO <sub>2</sub> eqha <sup>-1</sup> ) |
|---|--|---|---|
| Café  | 4,026  | 1,2906  | 1,3706  |
| Solo  | 95,963   | 0   | 0   |
| Somatório   | 99,989   | 1,2906  | 1,3706  |
| Balanço<br>(tCO <sub>2</sub> eqha <sup>-1</sup> ) |  | <b>98,6984</b>  | 1,3706  |

Fonte: Autor (2023).

O balanço do carbono anual por hectare é apresentado na Tabela 11 abaixo. O saldo referente à área total foi de 96,3764 tCO<sub>2</sub>eqha<sup>-1</sup>ano.

Tabela 11 Resumo balanço de tCO<sub>2</sub>eqha<sup>-1</sup> anual

|  | <b>Sequestro</b><br>(tCO <sub>2</sub> eqha <sup>-1</sup> ano) | <b>Estimativa Antropogênico</b><br>(tCO <sub>2</sub> eqha <sup>-1</sup> ano) | <b>Estimativa Biogênico</b><br>(tCO <sub>2</sub> eqha <sup>-1</sup> ano) |
|--|---|--|--|
| Café   | 1,704   | 1,2906   | 1,3706   |
| Solo   | 95,963  | 0  | 0  |
| Somatório  | 97,667  | 1,2906   | 1,3706   |
| Balanço<br>(tCO <sub>2</sub> eqha <sup>-1</sup> anual) |   | <b>96,3764</b>   | 1,3706   |

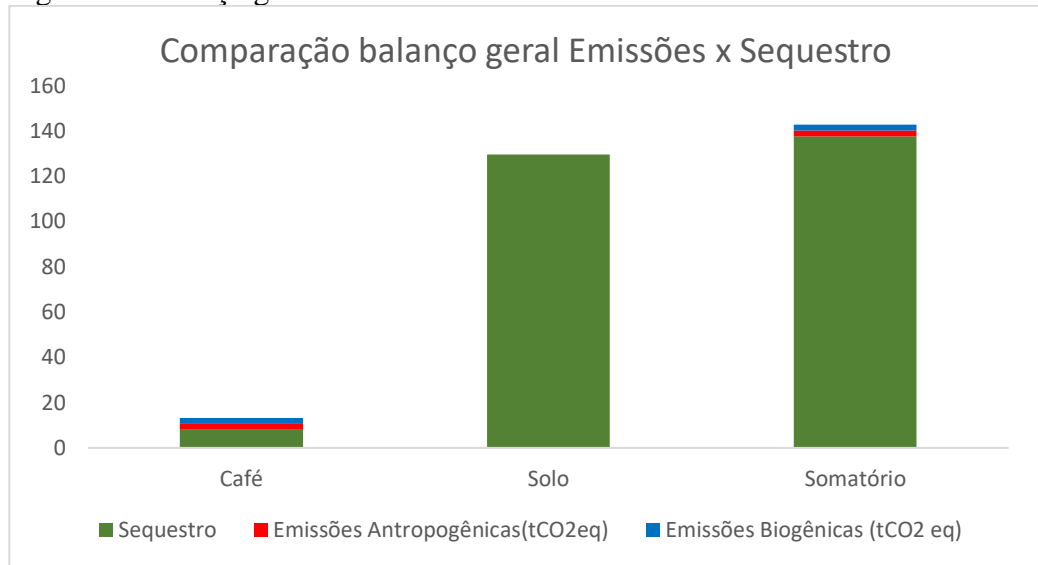
Fonte: Autor (2023).

As emissões biogênicas não entram na contabilidade do balanço, pois suas emissões são consideradas carbono neutro. Diante disso, para o balanço de emissões foram descontadas apenas as emissões antropogênicas.

O balanço indicou que a plantação de café, por si só, foi eficaz na mitigação das emissões Figura 11. Ao considerarmos o aumento médio anual de carbono sequestrado na

plantação (incremento médio anual), que foi de  $1,704 \text{ tCO}_2\text{eqha}^{-1}$ , já se compensam as emissões antropogênicas  $1,2906 \text{ tCO}_2\text{eqha}^{-1}$  resultantes das atividades associadas à plantaçoão.

Figura 11 Balanço geral



Fonte: Autor (2023).

## 5 CONCLUSÃO

O estudo revelou que o sequestro de carbono apenas na biomassa do café é 1,32 vezes superior às emissões de gases. Se considerarmos também o aumento do carbono no solo, decorrente da alteração no uso da terra, da escolha pelo manejo orgânico e do manejo biodinâmico, o saldo total de carbono foi mais de 74,4 vezes maior do que as emissões.

O maior sequestro foi observado no solo, devido ao aumento da matéria orgânica. No entanto, a escolha do manejo orgânico é de extrema importância para esses resultados positivos, pois demonstrou ser crucial para a redução das emissões antropogênicas e para auxiliar na fixação da matéria orgânica no solo.

É importante destacar que a cultura do café possui uma média de rotação de 20 anos, tornando necessários inventários constantes da biomassa ou até mesmo gerar modelos de projeções de biomassa da cultura. Além disso, ressalta-se a relevância das técnicas de poda, as quais variam de lavoura para lavoura. No caso em que se opta por realizar uma recepção aos 12 anos, ocorrerá a perda de 95% da biomassa estocada. Contudo, é importante observar que as emissões decorrentes dessa atividade serão contabilizadas como neutras devido à natureza biogênica das emissões.

Concluimos, portanto, que o manejo orgânico de uma plantação de café se configura como uma excelente alternativa para a redução das emissões antropogênicas associadas a essa atividade, visto que, uma lavoura orgânica em média, emite quase 140% menos gases de efeito estufa do que lavouras conduzidas de forma tradicional. Além disso, essa abordagem contribui para o aumento da matéria orgânica no solo e, conseqüentemente, para o estoque de carbono equivalente. Assim, o balanço de carbono em uma plantação de café conduzida de forma orgânica não é apenas neutro em carbono, mas também pode apresentar saldos positivos. Essa característica potencializa a cultura como uma candidata robusta para participar do mercado de carbono, atuando como fornecedora de créditos de carbono.

## REFERÊNCIAS

AGRAWALA, Shardul. **Context and early origins of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Climatic Change**, v. 39, n. 4, p. 605-620, 1998.

ASSAD, Eduardo Delgado et al. **Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 39, p. 1057-1064, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ. **Indicadores da Indústria de Café 2022** Rio de janeiro 2022. Disponível em: <https://estatisticas.abic.com.br/estatisticas/indicadores-da-industria/indicadores-da-industria-de-cafe-2022/> Acesso em: 10 nov.2023.

BORGES, Mariley Gonçalves; LEITE, Marcos Esdras; LEITE, Manoel Reinaldo. **Mapeamento do eucalipto no estado de Minas Gerais utilizando o Sensor Modis**. Espaço Aberto, v. 8, n. 1, p. 53-70, 2018.

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

COSTA, Falberni de Souza et al. **Métodos para avaliação das emissões de gases do efeito estufa no sistema solo-atmosfera**. Ciência Rural, v. 36, p. 693-700, 2006. Acesso em: 26 Set.2023.

DA SILVA MEIRELES, Ivan Edson et al. **Estimativa da biomassa de cafeeiros em sistemas agroflorestais sob manejo orgânico e convencional em diferentes arranjos**. Brazilian Journal of Environmental Sciences (RBCIAMB), n. 53, p. 134-147, 2019.

DA SILVA RIBEIRO, Viviane et al. **SEQUESTRO DO DIÓXIDO DE CARBONO EQUIVALENTE NA BIOMASSA DE LAVOURAS CAFEIRAS**. 15º JORNADA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA E 12 º SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO DO IFSULDEMINAS, v. 14, n. 1, 2022.



DA SILVA, Adriano Bortolotti et al. **Estoques de carbono no solo e em plantas de cafeeiro (Coffea arabica L.). Interciencia**, v. 38, n. 4, p. 286-291, 2013.

DE OLIVEIRA JUNIOR, Geraldo Gomes et al. **Balanço do dióxido de carbono equivalente em lavouras cafeeiras. Research, Society and Development**, v. 11, n. 7, p. e25311729966-e25311729966, 2022.

DE SOUZA, Jacimar Luis. **Reciclagem e sequestro de carbono na agricultura orgânica**. 2019.

DE SOUZA, Maria Clara R. et al. **A Influência dos Compostos Orgânicos Voláteis nas Mudanças Climáticas: Uma breve revisão**. 2023.

EULER, Ana Margarida Castro. **O acordo de Paris e o futuro do REDD+ no Brasil**. 2016.

FEDERAL, Senado. **Protocolo de Quioto e legislação correlata**. Brasília: Senado Federal, 2004. Acesso em: 26 Set.2023.

GIONGO, Vanderlise; ANGELOTTI, Francislene. **Agricultura de baixa emissão de carbono em regiões semiáridas**.

IMAFLORA. **Balance OF GREENHOUSE GAS (GHG) EMISSIONS FROM COFFEE PRODUCTION ON DATERRA COFFEE FARMS**. Piracicaba 2021. Disponível em: [https://www.imaflora.org/public/media/biblioteca/relatorio\\_daterra\\_ingles\\_final\\_2.pdf](https://www.imaflora.org/public/media/biblioteca/relatorio_daterra_ingles_final_2.pdf) Acesso em: 10 nov..2023.

Intergovernmental panel on climate change (IPCC). **Aquecimento Global de 1,5°C**. Genebra. 2018. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/07/SPM-Portuguese-version.pdf> / Acesso em: 04 outubro de 2023.

Intergovernmental panel on climate change (IPCC). **Climate Change 2023, Synthesis Report. Genebra. 2023**. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/> Acesso em 29 Set de 2023.

LANES JUNIOR, João Neres. **Da agricultura convencional à agroecológica: práticas e vivências de uma família camponesa no município de Cerejeiras/RO.** 2013.

MAPA. **Brasil é o maior produtor mundial e o segundo maior consumidor de café.** Brasília. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/brasil-e-o-maior-produtor-mundial-e-o-segundo-maior-consumidor-de-cafe> Acesso em: 04 outubro de 2023.

MOREIRA, Mauricio A. et al. **Geotecnologias para mapear lavouras de café nos estados de Minas Gerais e São Paulo.** Engenharia Agrícola, v. 30, p. 1123-1135, 2010.

MOREIRA, M. F. et al. **Sistemas agroflorestais e consórcios na cultura do café.** 2023.

OLIVEIRA JÚNIOR, Geraldo Gomes de et al. **Levantamento de emissão de gases de efeito estufa pela metodologia do carbono equivalente na cultura do cafeeiro.** 2015.

PROTOCOL, G. H. G. **Metodologia do GHG Protocol da Agricultura. Greenhouse Gas Protocol,** p. 1-54, 2014.

REVISTACAFEICULTURA. **Café orgânico ou modelo sustentável de produção de café?.** Paranaíba. 2006. Disponível em: <https://revistacafeicultura.com.br/cafe-organico-ou-modelo-sustentavel-de-producao-de-cafe/> Acesso em: 25 Set.2023.

SANTANA, Reynaldo Campos et al. **Estimativa de biomassa de plantios de eucalipto no Brasil.** Revista Árvore, v. 32, p. 697-706, 2008.

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

SEEG. **Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil (1970-2020).** São Paulo. 2021. Disponível em: <https://energiaeambiente.org.br/produto/analise-das-emissoes-brasileiras-de-gases-de-efeito-estufa-e-suas-implicacoes-para-as-metas-climaticas-do-brasil-1970-2020> Acesso em: 07 Out.2023.

SENRA, Ana Luiza Pimenta. **Proposta de um inventário de emissões de gases de efeito estufa no campus Morro do Cruzeiro da Universidade Federal de Ouro Preto.** 2023.

STOLZ, Marcos Vinícius Reisdorfer. **Comportamento do consumidor em relação ao consumo de café orgânico** Porto Alegre 2020. 2020.

UNEP. **The Closing Window Climate crisis calls for rapid transformation of societies Copenhagen.** 2022. Acesso em: 26 Set.2023.

USP – UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Efeito Estufa.** Disponível em: <[http://educar.sc.usp.br/licenciatura/2003/ee/Efeito\\_Estufa.html](http://educar.sc.usp.br/licenciatura/2003/ee/Efeito_Estufa.html)>. Acesso em: 26 Set.2023.

VELTRONE, Allan Rogério. **A formação do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) enquanto comunidade epistêmica.** Acesso em: 26 Set.2023.

WRI - WORLD RESOURCES INSTITUTE. **Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol.** Monzoni, M.; Bhatia, P.; Biderman, R.; Fransen, T; Oliveira, B.; Strumpf, R.; Robinson, K. (Ed.). 2010, 77 p. Disponível em: [fgv.br/ces/ghg](http://fgv.br/ces/ghg)

WRI - WORLD RESOURCES INSTITUTE. **Metodologia do GHG Protocol da agricultura.** Campinas. 2021. Disponível em: <<https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2022-12/Metodologia.pdf>>. Acesso em: 27 Set.2023.