

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO, CIÊNCIAS CONTÁBEIS E ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONEGÓCIOS

SISTEMA CONSERVACIONISTA DE PRODUÇÃO CAFEEIRA E A
GERAÇÃO DE CRÉDITO DE CARBONO

Cíntia Ferreira Anis

DOURADOS-MS
2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO, CIÊNCIAS CONTÁBEIS E ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONEGÓCIOS

SISTEMA CONSERVACIONISTA DE PRODUÇÃO CAFEEIRA E A
GERAÇÃO DE CRÉDITO DE CARBONO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócios da Universidade Federal da Grande Dourados – Faculdade de Administração, Ciências Contábeis e Economia, para obtenção do Título de Mestre em Agronegócios.

Discente: Cíntia Ferreira Anis

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Carla Eloize Carducci

Coorientador: Prof^o. Dr^o. Clandio Ruviaro Favarini

DOURADOS-MS
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

A599s Anis, Cintia Ferreira
SISTEMA CONSERVACIONISTA DE PRODUÇÃO CAFEEIRA E A GERAÇÃO DE
CRÉDITO DE CARBONO [recurso eletrônico] / Cintia Ferreira Anis. -- 2021.
Arquivo em formato pdf.

Orientador: Carla Eloize Carducci.
Coorientador: Clandio Favarini Ruviano.
Dissertação (Mestrado em Agronegócios)-Universidade Federal da Grande Dourados,
2021.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Sustentabilidade. 2. Pegada de Carbono. 3. IPCC. 4. Mudanças Climáticas. I.
Carducci, Carla Eloize. II. Ruviano, Clandio Favarini. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.



UFGD

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA POR **CÍNTIA FERREIRA ANIS**, ALUNA DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM AGRONEGÓCIOS, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO “EM AGRONEGÓCIOS E SUSTENTABILIDADE”.

Aos onze dias do mês de novembro de dois mil e vinte e um, às 8h30min, em sessão pública, realizou-se na Universidade Federal da Grande Dourados, a Defesa de Dissertação de Mestrado intitulada “**Sistema Conservacionista de Produção Cafeeira e a Geração de Crédito de Carbono**” apresentada pela mestranda **Cíntia Ferreira Anis**, do Programa de Pós-Graduação em AGRONEGÓCIOS, à Banca Examinadora constituída pelos membros: Prof.^a Dr.^a Carla Eloize Carducci/UFGD (presidente/orientadora), Prof. Dr. Marcelo Corrêa da Silva/UFGD (membro titular), Dr. Vinícius Gonçalves Maciel/ Embrapa (membro externo) e Prof. Dr. Mateus Luiz Secretti/ UNIGRAN (membro externo). Iniciados os trabalhos, a presidência deu a conhecer à candidata e aos integrantes da Banca as normas a serem observadas na apresentação da Dissertação. Após o candidato ter apresentado a sua Dissertação, os componentes da Banca Examinadora fizeram suas arguições. Terminada a Defesa, a Banca Examinadora, em sessão secreta, passou aos trabalhos de julgamento, tendo sido a candidata considerada **APROVADA**, fazendo *jus* ao título de **MESTRE EM AGRONEGÓCIOS**. **A presidente da banca abaixo-assinada atesta que os membros Marcelo Corrêa da Silva, Vinícius Gonçalves Maciel e Mateus Luiz Secretti participaram de forma remota desta defesa de dissertação, conforme o § 3º do Art. 1º da Portaria RTR/UFGD n. 200, de 16/03/2020 e a Instrução Normativa PROPP/UFGD Nº 1, de 17/03/2020, considerando a candidata APROVADA, conforme declaração anexa.** Nada mais havendo a tratar, lavrou-se a presente ata, que vai assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Dourados, 11 de novembro de 2021.

Prof.^a Dr.^a Carla Eloize Carducci 

Prof. Dr. Marcelo Corrêa da Silva (participação remota)

Dr. Vinícius Gonçalves Maciel (participação remota)

Prof. Dr. Mateus Luiz Secretti (participação remota)

ATA HOMOLOGADA EM: __/__/__, PELA PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA / UFGD.

Pró-Reitoria de Ensino de Pós-Graduação e Pesquisa
Assinatura e Carimbo

EPÍGRAFE

“Se não mudarmos urgentemente nosso modo de vida, podemos já não ter vida para mudar”.

António Guterres (ONU)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus queridos pais Jane e Vivaldo (*in memoriam*), minhas raízes e minhas asas, exemplos de luta e perseverança.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por estar com vida e saudável perante esse atual cenário pandêmico e pela graça de poder realizar um curso de mestrado numa Universidade pública e de qualidade como a UFGD.

Aos meus pais Jane e Vivaldo (*in memoriam*) que sempre me incentivaram a buscar conhecimentos e vitórias através dos estudos.

Ao meu esposo Vinícius pelo apoio incondicional, parceria e palavras de encorajamento para realização do mestrado.

Ao meu filho Ulisses pela tolerância e paciência, que mesmo aos oito anos de idade muitas vezes sentou-se ao meu lado nas horas de estudo à espera de atenção.

A minha Orientadora Prof^a Dr^a Carla Eloize Carduzzi, sou imensamente grata pelos ensinamentos, confiança, apoio e entendimento das minhas limitações de tempo em virtude da minha vida pessoal e profissional.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Clandio Favarini Ruviaro pelos ensinamentos valiosos para realização deste trabalho.

Aos amigos que fiz no programa, pela parceria nos estudos, conversas, apoio e desabafos, em especial as doutorandas Gabrielli e a Daiane.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronegócios, que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, em especial ao Professor Marcelo Côrrea Da Silva.

Aos professores: Dr^o. Mateus Luiz Secretti e Dr^o. Vinicius Gonçalves Maciel pelo aceite para composição da minha banca de defesa de dissertação.

E por fim, agradeço ao Centro de Pesquisa AP Romero, em especial a Sr^a Joyce, pelo apoio em fornecer os dados e informações relevantes sobre o Sistema AP Romero, sem essa ajuda não seria possível a realização deste estudo.

Muito obrigada!

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE ABREVIATURAS.....	11
LISTA DE TABELAS.....	12
LISTA DE FIGURAS.....	13
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO GERAL.....	14
REFERÊNCIAS.....	15
CAPÍTULO 2 – MERCADO DE CRÉDITOS DE CARBONO AGRÍCOLA: REALIDADE OU DESAFIO?.....	20
1. INTRODUÇÃO.....	21
2. METODOLOGIA.....	22
3. RESULTADOS.....	23
3.1. Aspectos normativos.....	23
3.2. Mercado de crédito de carbono mundial.....	30
3.3. Mercado de crédito de carbono no Brasil.....	32
3.4. Potencial ambiental da agricultura de conservação.....	34
4. DISCUSSÕES.....	36
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	38
6. REFERÊNCIAS.....	39
CAPÍTULO 3 – BALANÇO DE CARBONO ENTRE SISTEMAS DE PRODUÇÃO CAFEEIRA NO CERRADO MINEIRO, BRASIL.....	43
1. INTRODUÇÃO.....	44
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	45
2.1. Descrição da área de estudo.....	45
2.2. Dados meteorológicos da área de estudo.....	46
2.3. Dados do inventário (<i>inputs e outputs</i>)	47
2.4. Simulação de Monte Carlo.....	47
2.5. Balanço e estoque de carbono no solo.....	48
2.6. Descrição dos sistemas: multi práticas conservacionistas e convencional.....	49
2.7. Aplicação da ferramenta de gestão de impactos ambientais: ACV.....	51
3. RESULTADOS.....	53
3.1. Avaliação do impacto ambiental da produção cafeeira.....	53
3.1.2. Potencial de aquecimento Global.....	55
3.1.3. Acidificação terrestre.....	57
3.1.4. Uso da terra.....	58
3.2. Estoque e balanço de carbono no solo.....	59
3.3. Dados Meteorológicos.....	61
4. DISCUSSÃO.....	61
4.1. Avaliação do ciclo de vida na produção cafeeira.....	61
4.2. Potencial de aquecimento global e balanço de carbono.....	63
4.3. Acidificação terrestre.....	65
4.4. Uso da terra.....	66
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	67
6. REFERÊNCIAS.....	69
CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73

SISTEMA CONSERVACIONISTA DE PRODUÇÃO CAFEIEIRA E A GERAÇÃO DE CRÉDITO DE CARBONO

RESUMO - A agricultura convencional é vista mundialmente como emissora de gases de efeito estufa (GEE), devido as práticas adotadas. Já a agricultura de conservação é capaz de conciliar: produtividade, conservação ambiental, qualidade do solo e água, além da mitigação dos GEE. Assim, este estudo teve como objetivo apresentar os aspectos normativos no Brasil, observando a conjuntura mundial, sobre a geração de créditos de carbono na agricultura e estimar comparativamente os impactos ambientais dos sistemas de produção cafeeira: convencional e multi práticas conservacionistas, por meio da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Assim, para atender o objetivo proposto, os resultados obtidos foram apresentados e discutidos em dois capítulos que compõem esta dissertação em formato de artigo científico. O primeiro capítulo apresentou os aspectos normativos do crédito de carbono na agricultura. A metodologia proposta consistiu em uma revisão sistemática do estado da arte baseada em informações provenientes de bases de dados científicas e de repositórios de instituições governamentais. Os resultados decorrentes da pesquisa evidenciaram que o manejo correto do solo, utilizado na agricultura de conservação, contribui significativamente para o estoque e sequestro de carbono, podendo gerar créditos de carbono, *Green Bonds* e patentes verdes. Concluiu-se que as políticas públicas brasileiras ainda carecem de mais efetividade e alcance em larga escala, para que o país possa implantar um mercado de créditos de carbono que beneficie o setor agrícola, fortalecendo o modo de produção conservacionista. Já o segundo artigo, mostra uma análise comparativa dos sistemas cafeeiro convencional e multi práticas conservacionistas acerca da sustentabilidade ambiental em relação a emissão de carbono para a atmosfera, através da ACV nas categorias: Potencial de Aquecimento Global, Acidificação Terrestre e Mudanças de Uso da Terra. Os resultados mostraram que o sistema multi práticas conservacionistas é menos impactante ao ambiente do que o convencional, em todas as categorias. O estoque de carbono e o dióxido de carbono equivalente (CO_2eq) no solo sob sistema multi práticas foi de $49 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e $138 \text{ MgCO}_2\text{eq ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$, respectivamente, já o convencional obteve um resultado inferior, $30 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e $110 \text{ Mg CO}_2\text{eq ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ e os maiores picos de estoque de carbono foram registrados após 3 anos da implantação do sistema, chegando a $60 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. O balanço de carbono, no sistema multi práticas, resultou em $-137.996 \text{ kg CO}_2\text{eq ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ enquanto o convencional foi de $-109.993 \text{ kg CO}_2\text{eq ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$. Conclui-se, portanto que esse sistema multi práticas conservacionistas são capazes de gerar créditos de carbono e contribuir para mitigação dos GEE de acordo com os aspectos normativos em âmbito global.

Palavras-chave: Bioeconomia, IPCC, Pegada de Carbono, Sustentabilidade

CONSERVATION SYSTEM OF COFFEE PRODUCTION AND THE GENERATION OF CARBON CREDIT

ABSTRACT – Conventional agriculture is seen worldwide as an emitter of greenhouse gases (GHG), due to the adopted practices. Conservation agriculture is able to reconcile: productivity, environmental conservation, soil and water quality, in addition to GHG mitigation. Thus, this study aimed to present the normative aspects in Brazil, observing the world situation, on the generation of carbon credits in agriculture and comparatively estimate the environmental impacts of coffee production systems: conventional and multi-practice conservation, through the Assessment of the Life Cycle (LCA). Thus, to meet the proposed objective, the results obtained are presented and discussed in two chapters that make up this dissertation, which were written in the form of two articles. The first chapter is dedicated to presenting the normative aspects of carbon credit in agriculture. The proposed methodology consisted of a systematic review of the state of the art based on information from scientific databases and repositories of government institutions. The results from the research show that the correct soil management, used in conservation agriculture, significantly contributes to carbon storage and sequestration, and can generate carbon credits, Green Bonds and green patents. It was concluded that Brazilian public policies still lack more effectiveness and reach on a large scale, so that the country can implement a carbon market that benefits the agricultural sector, strengthening the conservationist mode of production. The second article shows a comparative analysis of conventional coffee systems and multi-practices conservation about environmental sustainability in relation to carbon emissions into the atmosphere, through LCA in the categories: Global Warming Potential, Terrestrial Acidification and Land Use Change. Results showed that the multi-practice conservation system is less impactful than the conventional one, in all categories. The carbon stock and carbon dioxide equivalent (CO₂eq) in the soil under the multi-practice system was 49 Mg C ha⁻¹ year⁻¹ and 138 MgCO₂eq ha⁻¹ year⁻¹, respectively, whereas the conventional one had a lower result, 30 Mg C ha⁻¹ year⁻¹ and 110 Mg CO₂eq ha⁻¹ year⁻¹ and the highest carbon stock peaks were recorded after 3 years of system implementation, reaching 60 Mg C ha⁻¹ year⁻¹. The carbon balance, in the multi-practice system, resulted in -137,996 kg CO₂eq ha⁻¹year⁻¹ while the conventional one was -109.993 kg CO₂eq ha⁻¹year⁻¹. Therefore, it is concluded that multi-practice conservation systems are able to generate carbon credits and contribute to GHG mitigation in accordance with regulatory aspects at a global level.

Keywords: Bioeconomy, IPCC, Carbon Footprint, Sustainability

LISTA DE ABREVIATURAS

ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
CNMUAD	Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento
CO ₂	Dióxido de Carbono
CO ₂ e	Dióxido de Carbono Equivalente
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
COP	Conferência das Partes
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EUA	Estados Unidos da América
FAO	Organização das Nações Unidas para alimentação e Agricultura
GEE	Gases de Efeito Estufa
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MBRE	Mercado Brasileiro de Redução de Emissões
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MgCO ₂	Mega Grama de Dióxido de Carbono
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NAMA's	Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas
NDC	Contribuição Nacionalmente Determinada
NPK	Nitrogênio, Fósforo e Potássio
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
RCE	Redução Certificada de Emissões
REDD+	Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal
SIMAPRO	<i>System for Integrated Environmental Assessment of Products</i>
TCO ₂	Toneladas de dióxido de carbono
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>

LISTA DE TABELAS

ARTIGO I	Página
Tabela 1 – Principais Conferências das Partes (COP).....	24
Tabela 2 - Ranking dos principais mercados de carbono.....	30
ARTIGO II	Página
Tabela 1 - Artigos científicos utilizados no levantamento do estoque de carbono no Latossolo Vermelho Distrófico sob sistema multi práticas conservacionistas de manejo do solo na camada de 0,30 m.....	49
Tabela 2 – Comparativo das características dos sistemas estudados.....	51
Tabela 3 – Avaliação dos impactos ambientais para os sistemas de produção cafeeira em estudo (1 kg de café verde)	55
Tabela 4 – Resultados comparativos dos processos que impactam o meio ambiente na categoria de Potencial de Aquecimento Global.....	57
Tabela 5 – Resultados comparativos de emissões dos sistemas analisados na categoria de Potencial de Aquecimento Global.....	57
Tabela 6 – Resultados comparativos dos processos que impactam o meio ambiente na categoria Acidificação Terrestre.....	58
Tabela 7 – Resultados comparativos de emissões dos sistemas analisados na categoria de Acidificação Terrestre.....	58
Tabela 8 – Resultados comparativos dos processos que impactam o meio ambiente na categoria Uso da Terra.....	59

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO II	Página
Figura 1 – Localização Geográfica da área pesquisada.....	46
Figura 2 – Fases do Inventário de acordo de com o ISO 14040 e ABNT – ISO 2009.....	53
Figura 3 – Características dos sistemas convencional e multi práticas conservacionistas para produção cafeeira e os limites do sistema.....	54
Figura 4 – Diferença percentual na categoria de Potencial de Aquecimento Global entre os sistemas convencional e multi práticas - AP Romero.....	56
Figura 5 – Diferença percentual na categoria da Acidificação Terrestre entre os sistemas convencional e multi práticas conservacionistas – AP Romero.....	57
Figura 6 – Diferença percentual na categoria de Uso da Terra entre os sistemas convencional e multi práticas conservacionistas – AP Romero.....	59
Figura 7 - Estoque de carbono orgânico e carbono equivalente ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) do Latossolo Vermelho sob o sistema de multi práticas conservacionistas - AP Romero.....	60
Figura 8 - Média do estoque de carbono orgânico e carbono equivalente entre os sistemas convencional e multi práticas conservacionistas – AP Romero.....	61
Figura 9 - Média anual das precipitações e temperatura em São Roque de Minas (MG), na região estudada.....	61

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é o maior produtor e exportador de café verde (commoditie), em âmbito global, produzindo grandes volumes de grãos todos anos e impactando positivamente a balança comercial do país. A colheita realizada em 2020 representou cerca de 38,7% de toda a produção mundial (estimada em 175,48 milhões de sacas de 60 kg). Nesse mesmo ano, foi exportado o volume físico de aproximadamente 40,6 milhões de sacas de 60 kg, com preço médio de US\$ 117,04 por saca, gerando uma receita cambial de US\$ 5,1 bilhões no ano. O Estado de Minas Gerais participa desse total com cerca de 33,07 milhões de sacas (CONAB, 2021). Contudo, há uma problemática advinda do setor agrícola, que se refere a emissão de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera.

A agricultura e as mudanças de uso da terra respondem por um quarto do total das emissões globais de GEE, relacionados as atividades antropogênicas, sendo uma das principais fontes que contribui para o aquecimento global (IPCC, 2019). Além disso, a produtividade da agricultura, em diversas escalas, depende diretamente do clima que pode sofrer impactos negativos em decorrência de fenômenos meteorológicos extremos como ondas de calor e chuvas intensas, esses fenômenos têm se intensificado devido as mudanças climáticas (LABORDE *et al.*, 2021).

As mudanças climáticas, provocadas pelo aquecimento global, tornaram-se um problema mundial e seus impactos afetam negativamente: a segurança alimentar da humanidade, o aumento da temperatura terrestre e consequentemente o aumento do nível do mar. Nos últimos 100 anos, ocorreu uma elevação, em torno de 0,7 °C, na temperatura média da superfície da Terra, devido ao aumento da concentração dos GEE na atmosfera (BESKOW e MATTEI, 2012; BEL e TEIXIDÓ, 2020).

Os desafios e soluções para o enfrentamento das mudanças climáticas e consequentes impactos ambientais, têm sido debatidos com o intermédio da Organização das Nações Unidas (ONU), que promove de forma global o fomento às políticas públicas voltadas para o apoio a práticas sustentáveis ao meio ambiente, através da Agenda Mundial de Desenvolvimento Sustentável e

Acordos entre os países-membros, como por exemplo, o Protocolo de Quioto que trouxe a regulamentação do comércio de créditos de carbono entre os países, através do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) (FRANGETTO *et al.*, 2018; GURGEL *et al.*, 2019).

A Agenda Mundial de Desenvolvimento Sustentável (2030), foi criada durante a Cúpula das Nações Unidas Sobre o Desenvolvimento Sustentável em 2015, e trouxe 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). O ODS - 13 é relacionado com a redução da emissão dos GEE, impondo ações urgentes contra a mudança global do clima. Já o ODS - 02, mostra o compromisso de desenvolvimento global em acabar com a fome promovendo a agricultura sustentável através de práticas agrícolas resilientes (GURGEL *et al.*, 2019; BEL e TEIXIDÓ, 2020).

A resiliência dos sistemas produtivos a esses fenômenos meteorológicos, tem relação direta com a capacidade de mitigação, adaptação e inovação dos processos de cultivo das culturas agrícola, como por exemplo, o tipo de uso e manejo de solo adotado pode exercer um papel negativo ou positivo, tanto na proteção à erosão do solo quanto na emissão de GEE. Se as técnicas utilizadas forem conservacionistas, o solo (camada arável até $\approx 0,40$ m) é capaz de estocar carbono em níveis elevados em comparação a vegetação e a atmosfera, sendo caracterizado como um sumidouro de carbono. Em contraponto quando é utilizado práticas não sustentáveis, como por exemplo o revolvimento e a compactação do solo, ocorrem a emissão desses GEE para atmosfera (SERAFIM *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2013; CARDUCCI *et al.*, 2015; GALLO *et al.*, 2017; SERAFIM *et al.*, 2019).

Os sistemas agrícolas gerenciados com práticas que visam apenas o aumento de produtividade podem não ser sustentáveis ao meio ambiente, e em contrapartida, contribuem para a degradação do solo, o que gera o aumento da emissão dos GEE. Por esse motivo, a agricultura convencional pode responder por altas taxas de emissão desses gases, pelo menos um quinto da emissão total (PELLEGRINI *et al.*, 2016; GALLO *et al.*, 2017).

Nesse contexto, o manejo e uso adequado do solo na agricultura, possivelmente contribui para redução dos GEE, conforme o compromisso estabelecido pela ONU, podendo auxiliar no combate as mudanças climáticas e

possibilitar a geração de créditos de carbono como compensação financeira aos agricultores.

O sistema de produção, objeto deste estudo, agrega práticas conservacionistas do solo. Esse sistema de produção cafeeira foi desenvolvido e aplicado na região do centro-oeste de Minas Gerais, sob o Bioma Cerrado, denominado por seus precursores como Sistema AP Romero, que é considerado um sistema multi práticas conservacionista de manejo do solo para cultivo cafeeiro da espécie *Coffea Arabica* (SERAFIM *et al.*, 2011).

Estudos anteriormente publicados sobre esse sistema, demonstraram melhorias físicas, hídricas e químicas do solo. Devido a utilização da cultura de cobertura de braquiária na entrelinha dos cafeeiros, que possibilita, durante todo o ano, o fornecimento de matéria orgânica, junto ao preparo e construção para a fertilidade do solo em maior profundidade até 0,60 m associado ao emprego de altas doses de gesso agrícola aplicados em superfície na linha de plantio da cultura. Isso resultou em crescimento radicular e maior vigor da planta e, consequentemente, o incremento notável de produtividade e sustentabilidade, comparado a outros sistemas (SERAFIM *et al.*, 2011; CARDUCCI *et al.*, 2014 SILVA *et al.*, 2015).

Os estudos focados nessas práticas conservacionistas, até o presente momento não abordaram a questão do desempenho ambiental, seja positivo ou negativo, sobre a emissão dos GEE, através do método de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), conforme abordado nos estudos de: Salomone (2003); Humbert *et al.* (2009); Noponen *et al.* (2012); Folegatti e Picoli (2018); Nab e Maslin (2020) e Trinh *et al.* (2020).

Para uma análise mais detalhada acerca dos benefícios do desempenho ambiental na adoção desse sistema multi práticas conservacionistas para lavouras cafeeiras, que possivelmente é capaz de gerar créditos de carbono, faz-se necessário, além de uma revisão sistemática da literatura sobre a normatização e iniciativas para geração e comercialização dos créditos de carbono na agricultura, um estudo comparativo entre o modo convencional de manejo de solo para a mensuração do balanço de carbono, avaliando qual sistema é mais sustentável acerca da emissão de GEE.

A partir desse contexto formulou-se a hipótese de que o sistema multi práticas conservacionistas, pode ser capaz de fixar e manter o carbono no solo

em maior quantidade ao longo do tempo, comparativamente ao sistema convencional, contribuindo para mitigação dos GEE e podendo gerar créditos de carbono aos cafeicultores.

Assim, surge a seguinte questão de pesquisa: Qual sistema de produção cafeeira é mais sustentável ao meio ambiente?

O objetivo geral do estudo foi analisar o desempenho ambiental do sistema multi práticas conservacionistas comparativamente ao sistema convencional considerando a possibilidade de geração de créditos de carbono.

Como objetivos específicos destacaram-se:

- Investigação dos aspectos normativos e as perspectivas para a regulamentação do mercado de créditos de carbono brasileiro para a agricultura conservacionista, como forma de compensação financeira para a mitigação dos GEE.
- Analisar, por meio da metodologia de ACV, qual sistema de produção cafeeira tem o melhor desempenho ambiental.

Referências

- BEL, G.; TEIXIDÓ, J.J. The political economy of the Paris Agreement: income inequality and climate policy. **Journal of Cleaner Production**, v. 258, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121002> .
- BESKOW, E.; MATTEI, L. Notas sobre a trajetória da questão ambiental e principais temas em debate na Conferência Rio +20. **Necat**, v. 1 n. 2, p. 4-12, 2012. Disponível em: <http://incubadora.periodicos.ufsc.br/index.php/necat/article/view/2228/2587> .
- CARDUCCI, C. E. *et al.* Retenção de água do solo sob sistema conservacionista de manejo com diferentes doses de gesso. **Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 58, n. 3, p. 284–291, 2015. <https://doi.org/10.4322/rca.2014> .
- CONAB. **Preços**. Brasília: CONAB, 2021. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1610&t=2>. Acesso em: 20 fev. 2021.
- FOLEGATTI-MATSUURA, M. I. S.; PICOLI, J. F. Life Cycle Inventories of Agriculture, Forestry and Animal Husbandry - Brazil. **Sustainable Recycling Industries**, v. 1, p. 106-122, 2018.
- FRANGETTO, F. W. *et al.* Legado do MDL: impactos e lições aprendidas a partir da implementação do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo no Brasil. **IPEA**, Brasília-DF, 2018. Disponível em: https://ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&id=34532 . Acesso em: 03 abr. 2020.
- GALLO, C. *et al.* Clustering analysis of environmental, emissions: A study on Kyoto Protocols impact on member countries. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 3685-3703, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.194> .
- GURGELL, A. C. *et al.* The impacts of the Brazilian NDC and their contribution to the Paris agreement on climate change. **Environment and Development Economics**, v. 24, p. 1–18, 2019. <https://doi.org/10.1017/S1355770X1900007XEDE> .
- HUMBERT, S. *et al.* Life cycle assessment of spray dried soluble coffee and comparison with alternatives (drip filter and capsule espresso). **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 15, p. 1351–1358, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.04.011> .
- LABORDE, D. *et al.* Agricultural subsidies and global greenhouse gas emissions. **Nature Communications**, v. 12, n.1, p. 1–9, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22703-1> .
- NAB, C. e MASLIM, M. Life cycle assessment synthesis of the carbon footprint of Arabica coffee: Case study of Brazil and Vietnam conventional and sustainable coffee production and export to the United Kingdom. **Geo:**

Geography and Environment, v. 7, n. 2, p. 1–19, 2020.
<https://doi.org/10.1002/geo2.96> .

NOPONEN, M. R. A. *et al.* Greenhouse gas emissions in coffee grown with differing input levels under conventional and organic management. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 151, p. 6–15, 2012.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.01.019> .

PELLEGRINI, G. *et al.* Application of water footprint to olive growing systems in the Apulia region: a comparative assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 2407–2418, 2016. <https://doi:10.1016/j.jclepro.2015.10.088>
 SALOMONE, R. Life Cycle Assessment applied to coffee production : investigating environmental impacts to aid decision making for improvements at company level. **Journal of Food Agriculture and Environment**, v. 1, n. 2, p. 295-300, 2003.

SERAFIM, M. *et al.* Sistema conservacionista e de manejo intensivo do solo no cultivo de cafeeiros na região do alto São Francisco, MG: Um estudo de caso. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 6, p. 964–977, 2011.

SERAFIM, M. E. *et al.* Reference values and soil quality in areas of high soybean yield in Cerrado region, Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 195, p. 75-92, 2019. <http://doi:10.1016/j.still.2019.104362> .

SILVA, A.E. *et al.* Doses crescentes de gesso agrícola, estabilidade de agregados e carbono orgânico em Latossolo do Cerrado sob Cafeicultura. **Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 56, n. 1, p. 25-32, 2013. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2013.012> .

TRINH, L. T. K. *et al.* Comparative life cycle assessment for conventional and organic coffee cultivation in Vietnam. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v.17 n. 3, p. 1307–1324, 2020.
<https://doi.org/10.1007/s13762-019-02539-5> .

CAPÍTULO 2

MERCADO DE CRÉDITOS DE CARBONO AGRÍCOLA: REALIDADE OU DESAFIO?¹

Agricultural credit carbon market: reality or challenge?

Mercado de créditos de carbono agrícola: ¿realidad o desafío?

Resumo: Mundialmente, a agricultura convencional é vista como emissora de gases de efeito estufa (GEE). Já a agricultura de conservação é capaz de mitigar os GEE e, potencialmente, gerar créditos de carbono. Este estudo objetivou analisar os aspectos normativos e perspectivas para regulamentação do mercado de créditos de carbono brasileiro agrícola, por meio de bases de dados científicos e governamentais. Concluiu-se que o Brasil, apesar da participação nas discussões internacionais e significativos avanços institucionais e normativos, carece de aplicação e um maior rigor no cumprimento das legislações ambientais relacionadas à mitigação dos GEE. Dessa forma, o país possui condições favoráveis à implantação de um mercado de créditos de carbono agrícola. Contudo, para que isso se torne uma realidade, faz-se necessário o incremento de parcerias público-privadas e políticas regulatórias mais abrangentes aos diversos segmentos do setor, pois ainda não há um mercado de créditos de carbono agrícola no país.

Palavras-chave: Acordo de Paris, Carbono no Solo, Sistemas Agrícolas.

Abstract: Worldwide, conventional agriculture is seen as greenhouse gases (GHG) emitter. Conservation agriculture is capable of GHG mitigating and potentially carbon credits generating. This study aimed normative aspects analyze and perspectives for Brazilian agricultural carbon market regulation, through scientific and governmental databases. It was concluded that Brazil, despite participation in international discussions and significant institutional and regulatory advances, lacks application and greater rigor in complying with environmental legislation related to GHG mitigation. Thus, the country has favorable conditions for an agricultural carbon market implementation. However, for this to become reality, it is necessary increase public-private partnerships and more comprehensive regulatory policies for the various sector segments, as there is still no agricultural carbon market in the country

Keywords: Paris Agreement, Soil Carbon, Agricultural Systems.

Resumen: En todo el mundo, la agricultura convencional se considera un emisor de gases de efecto invernadero (GEI). La agricultura de conservación es capaz de mitigar los GEI y potencialmente generar créditos de carbono. Este estudio tuvo como objetivo analizar los aspectos normativos y perspectivas para la

¹ Este capítulo corresponde ao artigo científico submetido à revista Multitemas e encontra-se em editoração

regulación del mercado brasileño de carbono agrícola, a través de bases de datos científicas y gubernamentales. Se concluyó que Brasil, a pesar de su participación en discusiones internacionales y de importantes avances institucionales y regulatorios, carece de aplicación y mayor rigor en el cumplimiento de la legislación ambiental relacionada con la mitigación de GEI. Así, el país cuenta con condiciones favorables para la implementación de un mercado de crédito de carbono agrícola. Sin embargo, para que esto sea una realidad, es necesario incrementar las alianzas público privadas y políticas regulatorias más integrales para los distintos segmentos del sector.

Palabras clave: Acuerdo de París, Carbono del suelo, Sistemas agrícolas.

1 INTRODUÇÃO

O fenômeno das mudanças climáticas, causado pelas emissões dos gases de efeito estufa (GEE), é sem dúvida, um assunto meritório, devido às consequências naturais catastróficas e impactos negativos na segurança alimentar e nutricional da humanidade. Essa problemática ambiental ocorre, em boa parte, devido as atividades de Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra.

A Organização da Nações Unidas (ONU) tem realizado, desde o ano de 1972, encontros mundiais onde líderes políticos de diversos países reconheceram que as atividades antrópicas podem impactar negativamente o meio ambiente e contribuir para o agravamento das mudanças climáticas.

Nesses encontros discute-se possíveis soluções para reverter as causas desse problema, estabelecendo metas de cumprimento em relação a emissão e mitigação dos GEE. Desde o ano de 2005, com a ratificação do Protocolo de Quioto, o cumprimento dessas metas é passível de geração de créditos de carbono e comercialização no mercado de carbono regulado.

No entanto, o setor agrícola não foi incluído nesse protocolo, pois padece pelo excesso de rigor na comprovação da redução significativa de GEE para se enquadrar nos projetos, principalmente aqueles de produção em pequena escala, afetando, desta forma, o potencial brasileiro de redução de quantidades significativas de GEE, bem como, a promoção do desenvolvimento rural sustentável.

A agricultura de conservação utilizada no Brasil, por meio dos sistemas de cultivo, como: sistema de plantio direto, integrações lavoura-pecuária-floresta e Sistema AP Romero na cafeicultura, possuem a capacidade de estocar

carbono no solo. Não estaria nessa agricultura a possibilidade de redução dos índices de emissões de gás carbônico (CO₂) da atmosfera? Não seria essa uma possibilidade de os produtores rurais obterem uma compensação financeira, na forma de créditos de carbono?

Este trabalho teve como objetivo investigar os aspectos normativos e as perspectivas para a regulamentação do mercado de créditos de carbono brasileiro para a agricultura conservacionista, como forma de compensação financeira para a mitigação dos GEE, para tanto, realizou-se uma revisão sistemática da literatura de forma hipotética dedutiva a fim de se alcançar uma conclusão cientificamente válida.

O estudo sugere a comprovação por meio do método dedutivo das seguintes hipóteses: 1) O Brasil possui legislação específica em conformidade com os Acordos Internacionais que estabeleça condições para mitigação e adaptação às mudanças climáticas. 2) O setor agrícola brasileiro apresenta potencial, conforme normas e diretrizes firmadas, para geração de créditos de carbono e 3) A agricultura conservacionista tem potencial para mitigar os gases de efeito estufa gerando compensação financeira através da comercialização de créditos de carbono ou títulos verdes em conformidade com os Acordos Ambientais Internacionais e legislação brasileira vigente.

2 METODOLOGIA

Nesse estudo, desenvolveu-se uma pesquisa de caráter qualitativo exploratório através de uma revisão sistemática com base no levantamento de literatura científica e literatura cinzenta, com dados extraídos de artigos, legislações, livros, relatórios, teses e dissertações. O padrão da revisão foi pautado nos estudos de Khan *et al.*, (2003), com as contribuições sobre as fases dos protocolos elaboradas de acordo com os estudos de Biolchini *et al.*, (2007), ou seja, seguiu-se um conjunto de passos bem definidos e planejados de acordo com um protocolo previamente estabelecido para transparência e possíveis replicações do estado da arte com base na literatura internacional já produzida.

Utilizou-se o método hipotético dedutivo, como forma de auxílio para a análise dos estudos, partindo-se de um conhecimento pré-existente, que se formulou as hipóteses e através da revisão sistemática foi encontrado o

embasamento científico para a interpretação racional dos resultados (MARCONI; LAKATOS, 2017).

Para o gerenciamento deste estudo secundário foi utilizada a ferramenta StArt (*State of the Art through Systematic Review*) versão 3.0.3, desenvolvido pelo Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software da Universidade Federal de São Carlos (HERNANDES *et al.*, 2012). Foi utilizado como apoio à planilha de fluxo contínuo para agilizar a catalogação dos dados extraídos dos documentos pertinentes ao estudo.

A fase 1 da revisão consistiu na formulação da seguinte questão de pesquisa: Quais as evidências de que a agricultura de conservação contribui na redução dos GEE com possibilidade para compensação financeira através do mercado de créditos de carbono, em conformidade com a regulamentação e normatização mundial?

Já na fase 2 realizou-se uma busca de forma abrangente em artigos publicados em bases de dados e literatura cinzenta para a definição das *strings* (palavras-chave) de busca.

Para seleção dos trabalhos (fase 3), primeiramente excluiu-se os trabalhos duplicados através do Start e, em seguida, realizou-se uma leitura parcial que contemplou o título, resumo e palavras-chave, excluindo as publicações de acordo com os critérios de exclusão estabelecidos anteriormente. Uma segunda filtragem foi feita baixando os arquivos em PDF e realizando uma leitura completa excluindo ou incluindo novamente de acordo com os critérios adotados.

3 RESULTADOS

3.1 Aspectos normativos para implantação do mercado de créditos de carbono agrícola

O aumento das emissões dos GEE na atmosfera contribui diretamente para as alterações climáticas e estão relacionadas diretamente com as mudanças do uso da terra em escala global. Esse assunto tem sido discutido nos fóruns internacionais ambientais, desde o ano de 1972, com a Conferência Sobre o Meio Ambiente, organizadas pela ONU. A partir desse momento, reconheceu-se a necessidade de redução, modificação ou fim das atividades antrópicas

prejudiciais ao meio ambiente ligadas, principalmente, à indústria e aumento do uso de energias não-renováveis (FREITAS; SILVA, 2020).

Nesse sentido, as discussões sobre as mudanças climáticas tiveram prosseguimento no decorrer dos anos seguintes. Em 1992, foi realizada no Rio de Janeiro a CNMUAD (Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento), conhecida também como Eco-92 e Rio-92. Esse evento foi considerado um marco histórico para a conscientização ambiental, enfatizando sustentabilidade ambiental atrelada e não em detrimento ao desenvolvimento socioeconômico dos países, estabelecendo ações que consolidaram uma agenda mundial (Agenda 21), objetivando a proteção ao meio ambiente, biodiversidade, segurança alimentar e nutricional e o equilíbrio climático no planeta (BESKOW; MATTEI, 2012; BEL; TEIXIDÓ, 2020).

Encontros anuais se sucederam com o nome de Conferência das Partes (COP), a Tabela 1 mostra um breve histórico das principais COPs e os assuntos e decisões tratadas.

TABELA 1 – Principais Conferências das partes (COP).

Ano	Evento/Local	Discussões/Decisões
1992	UNFCCC - Rio de Janeiro	Tratado firmado por quase todos os países que estabeleceu a discussão anual através de COP acerca das questões sobre as mudanças climáticas.
1997	COP 3 – Quioto	Foi firmado o Protocolo de Quioto (2008-2012), que objetivou a redução das emissões de GEE e criação dos créditos de carbono através do MDL.
2007	COP 13 – Bali	Definiu um roteiro para guiar as negociações de um Acordo sucessor ao Protocolo de Quioto.
2009	COP 15 – Copenhague	Foi firmado o Acordo de Copenhague, no qual os países, apresentaram metas de redução de emissões de GEE. Estabelecendo o objetivo de se limitar o aumento de temperatura da superfície da terra em 2°C.
2010	COP 16 – Cancún	Criação do Fundo Verde para o Clima no valor de 100 bilhões anuais (a partir de 2020) como ajuda dos países desenvolvidos aos países em desenvolvimento.
2011	COP 17 – Durban	Plataforma de Durban - novo roteiro traçado, até 2015, pela União Europeia para um novo Acordo Climático.

2012 COP 18 – Dhoa	Conclusão das metas que orientem as medidas de reduções de emissão de GEE para o segundo período do Protocolo de Quioto (2013-2020).
2013 COP 19 -Varsóvia	Criação do regime de compensação por perdas e danos e pagamento por emissão reduzida a partir de esforço de combate ao desmatamento e à degradação florestal (REDD+).
2014 COP 20 – Lima	Criação do documento "Rascunho Zero" objetivando compromissos para redução das emissões globais entre 40% e 70% até 2050.
2015 COP 21 – Paris	Definiu o Acordo de Paris como sucessor do Protocolo de Quioto, com o objetivo central de manter a temperatura média global em 2°C abaixo dos níveis pré-industriais, com esforços para contê-lo a 1,5°C.
2016 COP 22 – Marrakech	Discussão sobre a precificação do carbono, com o setor empresarial, para o alcance das metas das NDCs.
2017 COP 23 – Bonn	Discussão sobre a implantação das obrigações previamente estabelecidas e a presença do setor empresarial para precificação do carbono.
2018 COP 24 – Katowice	Encerra o ciclo de debate das normas e obrigações para implantação do Acordo de Paris.
2019 COP 25 – Madri	Início das discussões para implantação de um Mercado de Carbono Internacional
2021 COP 26 – Glasgow	Espera-se a regulamentação do Mercado de Carbono incluindo o setor agrícola. Nessa conferência será discutida a redução de CO ₂ , em escala planetária, através da adoção de energias renováveis e o Brasil mostrará que a energia renovável do país vem da agricultura.

FONTE: Dados da pesquisa (2021), elaboração própria.

Nesse sentido, pode-se destacar como um dos principais acordos o Protocolo de Quioto. Esse acordo foi criado em 1997 e ratificado em 2005 com vigência até o ano de 2012 (primeiro período). Trata-se de um acordo com base no Direito Internacional em que os Estados-Membros da ONU se comprometeram a reduzir a emissão de GEE, principalmente os países industrializados (Anexo B²), que historicamente são os que mais prejudicaram o

² Anexo B: Trata-se de uma relação, constante no Protocolo de Quioto, de 36 países desenvolvidos e industrializados e a União Europeia com metas para redução de emissões de gases de efeito estufa.

meio ambiente com a emissão de GEE desde a época da Revolução Industrial. Dessa forma, os países desenvolvidos possuem obrigatoriedade no cumprimento das metas estabelecidas.

Diante das exigências para o cumprimento das metas de redução dessas emissões, impostas aos países desenvolvidos no Protocolo de Quioto, há um *trade-off*³ entre preservar o meio ambiente e promover o crescimento econômico com competitividade, gerando tensas e difíceis discussões para mitigação em tempo hábil para reverter ou amenizar os efeitos das mudanças climáticas que afeta a todos os países de forma generalizada (BEL; TEIXIDÓ, 2020).

Uma possível solução para esse *trade-off*, teve relevância no Protocolo de Quioto, que foi a criação de um mecanismo para flexibilização entre os países com diferentes economias para que conjuntamente pudessem cumprir os objetivos do protocolo, esse mecanismo foi chamado de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

O MDL, artigo 12 do Protocolo de Quioto, teve o intuito de ajudar os países em desenvolvimento promovendo o desenvolvimento sustentável com ajuda financeira dos países desenvolvidos. Através desse acordo de mercado, os países desenvolvidos puderam cumprir suas metas de redução de emissão de GEE. Esse mecanismo contempla os projetos que configuram a sustentabilidade ambiental aliada ao crescimento econômico e ao uso responsável dos recursos naturais não renováveis. Estabeleceu-se que o fator econômico para negociação entre os países seriam os créditos de carbono (mercado voluntário) ou certificado de redução de emissões – RCE⁴ (mercado regulado). Cada tonelada de carbono equivalente (1 TCO₂eq) não emitida ou retirada da atmosfera poderia ser negociada no mercado de carbono mundial, o que equivale a um crédito de carbono⁵ (LAZARO & GREMAUD, 2017).

Nesse contexto, foi a partir da elaboração do MDL, que se iniciou a implementação do crédito de carbono como a possibilidade de flexibilização para auxílio dos países com metas de redução dos GEE. Permitiram-se ações e projetos nos países em desenvolvimento, de forma voluntária, porém negociados apenas no mercado regulado, visando o desenvolvimento sustentável e a

³ Trade off: Perda e ganho, ou seja, escolher uma coisa em detrimento a outra.

⁴ RCE: Redução Certificada de Emissão.

⁵ Crédito de carbono: é a moeda utilizada no mercado de carbono e gerada com base na não emissão de GEE à atmosfera.

mitigação dos GEE na atmosfera. O setor de produção agrícola não foi incluído nesse mecanismo.

No ano de 2009, durante a realização da COP 15, em Copenhague na Dinamarca, o Brasil de forma pioneira, apresentou um conjunto de ações voluntárias denominadas NAMA's, estabelecendo o compromisso de redução de emissões de GEE com ações voluntárias nos setores de atividades agropecuárias e energético, atividades essas que compõem as metas do Plano ABC (GURGEL *et al.*, 2019).

Dessa forma, o Brasil assumiu, na COP 15, um importante compromisso que tem como base central a agricultura de baixo carbono, chamado Plano ABC. A abrangência desse Plano é somente nacional e vigente no período de 2010 a 2020. O Plano não contemplou ajuda aos agricultores familiares e assentados da reforma agrária. Resultados apresentados recentemente mostraram que o Plano ABC alcançou 182% da meta de mitigação para o sistema plantio direto contribuindo com a mitigação de 18,25 milhões MgCO₂eq na questão solo-planta para o sistema plantio direto, sendo que a meta inicial era contribuir com a mitigação de 8 a 10 milhões de MgCO₂eq (GMACH *et al.*, 2018).

O segundo ciclo do Plano ABC (2020-2030) denominado Plano ABC+, prioriza a gestão integrada da paisagem com ações para o estímulo a ampliação das inovações tecnológicas para mitigação dos GEE, acompanhando o cenário internacional, e a adaptação dos sistemas produtivos tornando-os mais resilientes e eficientes, conciliando conservação e produtividade. As metas serão divulgadas no segundo semestre de 2021 no Plano Operativo do ABC+ (PLANO ABC, 2021).

No cenário internacional, foi realizada em 2015, a 21ª COP, onde foi firmado o Tratado Internacional chamado de Acordo de Paris, que se encontra atualmente vigente, sendo o sucessor do Protocolo de Quioto. Nesse acordo, 195 países participantes se comprometeram a manter o aumento da temperatura global abaixo de 2° C, em relação a níveis pré-industriais, preferencialmente 1,5°C, no período de 2020 até 2025 (PINTO *et al.*, 2020).

Durante a 21ª COP, a França trouxe a iniciática 4 por 1000, que visa promover pesquisas e ações globais para desenvolver estratégias de gestão comum que visem o aumento do estoque de carbono no solo em 0,4% (4/1000) por ano. Estudos comprovaram que aumentando o teor de carbono do solo

global em apenas algumas partes por mil (0,4%) a cada ano, seria possível remover uma quantidade de CO₂ na atmosfera equivalente as emissões de combustíveis fósseis da União Europeia (3-4 giga toneladas). Além disso, o aumento do estoque de carbono global aumentaria a saúde do solo em toda a África, Ásia e América Latina, ocasionando uma elevação na produtividade agrícola em cerca de 1,3%, contribuindo para segurança alimentar dos países em desenvolvimento localizados nessas regiões e, conseqüentemente, para mitigação dos GEE (RUMPEL *et al.*, 2018).

Ao contrário do acordo anterior, que direcionava as diretrizes e metas para os países desenvolvidos, os países em desenvolvimento puderam apresentar a NDC para redução das emissões de GEE até 2030, em concordância com o princípio da ONU “responsabilidades comuns, mas diferenciadas pelas suas capacidades” (LEFRÈVE, *et al.*, 2018).

Para o Brasil a NDC apresentada foi a redução de 37% (equivalente à emissão de 1.346 milhões de ton. CO₂eq), em relação as emissões do ano base de 2005, e de 43% até 2030, com indicativo de redução em torno de 43% das emissões até 2030. (GURGEL, *et al.*, 2019). Dessa forma, estocando no solo mais de 200 tCO₂eq/ha/ano ou 17 milhões tCO₂eq em 10 anos (GONÇALVES *et al.*, 2017; GMACH *et al.*, 2018; SERAFIM *et al.*, 2019; SARTO *et al.*, 2020).

Estudos sugerem que nos países em desenvolvimento, o poder e a riqueza se concentram em uma minoria que se beneficia de atividades econômicas poluentes, e sofrem menos influência para a elaboração de políticas de preservação ambiental. Observou-se também que os países mais poluentes historicamente, também são os países de maior renda per capita (VOIGHT, 2018; BEL; TEIXIDÓ, 2020).

Dessa forma, o Acordo de Paris permite aos países em desenvolvimento, conjuntamente com os países desenvolvidos, o comprometimento mundial de redução dos GEE no contexto do desenvolvimento sustentável, estimulando a elaboração de um planejamento, para juntamente com os países desenvolvidos contribuir para a mitigação dos GEE.

A Legislação que objetivou o início da implementação do mercado de créditos de carbono no Brasil foi a Lei Federal nº 12.187/2009, de 29 de dezembro – Política Nacional sobre Mudança do Clima. Essa lei prevê, em seu artigo 4º, o estímulo ao Desenvolvimento do Mercado Brasileiro de Redução de

Emissões (MBRE). Em seu artigo 9º é prevista a operacionalização em bolsas de mercadorias e futuros, bolsas de valores e entidades de balcão organizado, autorizadas pela Comissão de Valores Mobiliários representativos de emissões de gases de efeito estufa. O artigo 12 aborda o compromisso nacional voluntário de ações para mitigações das emissões dos GEE reduzindo entre 36,1% e 38,9% até o ano de 2020 (BRASIL, 2009).

Já a Lei Federal nº 12.114, de 09 de dezembro de 2009, que é uma lei de natureza contábil, institui a constituição de recursos financeiros para a criação do Fundo Nacional Sobre Mudança Climática, essa gestão de recursos visa assegurar e destinar recursos para apoio a projetos, estudos e financiamento de empreendimentos que contribuam para a mitigação das mudanças climáticas e à adaptação à mudança do clima e aos seus efeitos.

Estados brasileiros promulgaram leis que instituíram a Política Estadual de Mudanças Climáticas. Essas leis são, em geral, semelhantes em seus princípios, objetivos e diretrizes visando à mitigação dos gases GEE, além de buscar o estímulo à obtenção de créditos de carbono originados de projetos decorrentes do MDL. As legislações mantêm a similaridade com a Política Nacional de Mudança do Clima - Lei Federal nº 12.187/2009, e, no cenário internacional, a concordância com o Protocolo de Quioto. Já os Estados: do Acre (AC), de Alagoas (AL), Amapá (AP), Maranhão (MA), Minas Gerais (MG), Roraima (RR) e Sergipe (SE), ainda não sancionaram leis que instituíssem Políticas Estaduais sobre Mudanças Climáticas, em seus territórios.

Assim, pode-se verificar que 74% dos Estados brasileiros, incluindo o Distrito Federal, promulgarem leis específicas pertinentes a questões ambientais e estímulo ao mercado de crédito de carbono, enquanto os outros 26%, ainda não possuem leis específicas em acordo com a Política Nacional de Mudanças Climáticas.

As legislações estaduais foram criadas visando nortear as políticas públicas através da articulação do poder público e da sociedade para discutir e propor ações e apoio as atividades dos projetos do MDL, considerando a importância do desenvolvimento sustentável para mitigação dos GEE, bem como a mitigação das atividades antrópicas.

3.2 Mercado de crédito de carbono mundial

O último relatório do Banco Mundial “*State and Trends of Carbon Pricing 2020*”, mostra que a comercialização mundial de créditos de carbono foi equivalente a cerca de US\$ 45 bilhões no ano de 2019. A precificação da tonelada de carbono foi considerada baixa com um preço médio global de US\$ 10/TCO₂, já o Fundo Monetário Internacional calculou esse preço em torno de US\$ 2/TCO₂. Até 2030 estima-se que a precificação seja de US\$ 50-100/TCO₂, essa projeção econômica está alinhada com as metas para mitigação dos GEE instituídas no Acordo de Paris. O preço adequado do carbono no mercado voluntário é determinado pela lei da oferta e procura e qualidade dos projetos aos quais os créditos estão atrelados (WORLD BANK, 2020).

O mercado de carbono é considerado uma ferramenta política e econômica fundamental para alcançar a mitigação dos GEE, mas seu correto funcionamento depende de uma supervisão regulatória adequada tanto em jurisdição nacional quanto internacional (HODSON, 2015). A tabela 2, mostra os principais mercados de carbono já implantados em âmbito mundial.

TABELA 2 - Ranking dos principais mercados de carbono

Posição	Região
1º	União Europeia
2º	América do Norte
3º	China

A União Europeia, que possui o mais avançado e importante mercado voluntário de carbono do mundo, instituiu o Sistema de Comércio de Emissões, desde o ano de 2005, e amparado pelo Acordo Verde, firmado em 2019, tem o compromisso de alcançar a neutralidade do carbono até o ano de 2050, ou seja, quando nenhum equivalente de dióxido de carbono é adicionado a atmosfera. Esse bloco econômico depende fortemente de importações agrícolas e cada país possui sua própria definição de sustentabilidade com legislações menos rigorosas, assim o Acordo Verde pode exigir simplificar e alinhar as normas ambientais tanto para importação quanto para os produtos internos. Embora a União Europeia não possa impor legislações em outros países, ela pode exigir

que os produtos que entram em seu território estejam de acordo com suas regulamentações e exigências ambientais.

O mercado de carbono da América do Norte é considerado o segundo maior do mundo em relação ao volume de carbono negociado, com destaque na comercialização de carbono para usinas de geração de energia e unidades industriais de grande porte localizadas na Califórnia. Nos Estados Unidos os mercados de carbono regulados são regionais e existe em todo o país uma demanda crescente por compensação de carbono, mas por questões políticas sua meta de redução nacional ainda será apresentada, assim o mercado de carbono nacional com intenções ambientais positivas ainda está sendo implantado de forma efetiva (BNDES, 2018).

Uma empresa, norte americana, em parceria com empresas de auditoria e verificação como: *Climate Action Reserve* e *Volunteer Carbon Standard - Verra* e a comunidade científica está desenvolvendo o Protocolo do Projeto de Enriquecimento do Solo com a Reserva de Ação do Clima, que consiste em metodologias inovadoras para monitorar, quantificar, verificar e relatar as reduções e remoções líquidas de GEE, para isso os agricultores interessados implementam práticas conservacionistas e através desses estudos é mensurado e verificado a real geração de créditos de carbono com transparência e rigor, para comercialização, aumentando a rentabilidade da lavoura e reduzindo os impactos ambientais negativos da agricultura.

Já a China, desde 2006, ocupa a posição mundial de maior emissor de GEE, respondendo atualmente por cerca de 28% do total mundial, devido ao alto consumo de carvão mineral para produção de energia. Em contrapartida, recentemente, os governantes do país adotaram uma postura ambiental correta, estabelecendo metas para neutralidade do carbono até 2060 e adotando um sistema de compensação de emissões em todo o país, com um mercado de carbono orientado por políticas públicas que estabelecem uma gestão clara e métodos completos para cumprimento de suas metas de emissão (ZHANG; LI, 2018).

A China é o terceiro maior mercado de carbono do mundo, sendo que em 2013 instituiu sete projetos pilotos de mercado de carbono, inseridos em duas grandes cidades: Beijing e Shangai. Com esses sete projetos pilotos, inseridos nas províncias e distritos industriais dessas duas cidades, a China pretende, a

curto prazo, ser o segundo maior mercado de carbono mundial. No ano de 2018, foi adotada a taxa ecológica, que se trata de um imposto com incidência sobre empresas e instituições que emitem GEE, fortalecendo a comercialização dos créditos de carbono (BNDES, 2018).

Os estudos de Qi *et al.*, (2021), analisaram os efeitos ambientais e econômicos dos projetos pilotos de mercado de carbono agrícola implantados na China para redução do carbono. Os estudos mostraram que esses projetos vêm alcançando suas metas e as reduções de carbono não prejudicam o desenvolvimento econômico da região.

Para Yi *et al.*, (2019), os projetos pilotos da China fornecem importantes lições e experiências para a criação de um mercado de carbono nacional, sendo que os resultados mais significativos em relação ao meio ambiente e economia foram os implantados em Pequim, Xangai e Hubei.

A África do Sul que carece de energia limpa, sendo que 90% de sua eletricidade e dois terços da energia total provêm do carvão, taxou recentemente (2019), emissão de GEE sendo cobrado por cada tonelada emitida o equivalente a US\$ 8. A Nova Zelândia planeja precificar as emissões no setor agrícola até 2025. Projetos pilotos para taxação e precificação vislumbrando o mercado de carbono, já avançam em países como Indonésia, Montenegro, Japão, Austrália, México e Colômbia (World Bank, 2020).

3.3 Mercado de crédito de carbono no Brasil

De acordo com o último relatório do Banco Mundial (2020), o Brasil ainda está em fase de estudos e discussões entre os representantes do governo, setor privado e internacional para criação de um sistema de preços nacional de carbono baseado no comércio de emissão de GEE. No Brasil, os cidadãos e as empresas poluentes ainda não são obrigadas a compensar a pegada de carbono e emissões de GEE.

Recentemente o governo brasileiro instituiu o Programa + Florestas, com o objetivo reduzir a emissão de GEE por empresas através da venda de créditos de carbono. Esse programa é destinado somente aos produtores de biocombustíveis, a meta seria a comercialização de 24,86 milhões de créditos

de carbono por ano, os créditos poderão ser vendidos pelos produtores e investidores na bolsa de valores (MMA, 2020).

A plataforma digital Moss (iniciativa privada) permite que cidadãos e empresas adquiram créditos de carbono diretamente pela plataforma. Esses créditos de carbono são oriundos de projetos certificados de acordo com protocolos e padrões globais através de auditorias que comprovam a redução de GEE, como: *Verified Carbon Standard - Verra*, *CCB Standard*, *Social Carbon*, *Certik*, *Perkinscoie*, *Celo* e *Armanino*. Atualmente existem três projetos passíveis de crédito de carbono: Ituxi, Agrocortex e Amazon IFM, que são voltados para o combate ao desmatamento e preservação da floresta Amazônica. Os Créditos de carbono advindos do setor agrícola relacionados a questão solo-planta, ainda não são comercializados em plataformas digitais.

Para a efetivação de um mercado de carbono no Brasil, com base na agricultura conservacionista se faz necessário a aceitabilidade de projetos conforme o MDL. Porém, para implementação do MDL, foram estabelecidas metodologias para garantir que os projetos identificassem de forma segura a conversão das reduções de emissões em Redução Certificada de Emissões (RCE), para que não ocorra dupla contagem ou falhas quantitativas. Essa verificação é realizada por entidades operacionais, compostas por empresas de verificação e auditoria com competência comprovada atuando em conjunto com os órgãos governamentais competentes dos países envolvidos. Devido ao alto custo e complexidade dessa verificação, o setor da agricultura (solo-planta) não foi normatizado para envio de projetos de acordo com o MDL (FRANGETTO *et al.*, 2018).

Também se faz necessário a fiscalização desses projetos, pois evidências publicadas sugerem que países com indústrias químicas nacionais aumentaram a produção de resíduos altamente potentes em GEE, visando à geração de créditos de carbono, e posterior benefícios financeiros através de sua eliminação entre o período de 2008 a 2013, justamente no período inicial da creditação (HODSON, 2015; SCHNEIDER; KOLLMUSS, 2015).

Dessa forma, o potencial brasileiro não foi completamente aproveitado e o Brasil perdeu a oportunidade de liderar a questão da mitigação dos GEE, através de projetos de grande e pequena escala no MDL relacionados com a agricultura, pois na maioria dos países as emissões de GEE são advindas de

fontes industriais, enquanto no Brasil a maioria origina-se do uso da terra (agricultura, silvicultura, fruticultura, pecuária entre outros), já que o agronegócio é um importante setor na economia brasileira (PAGLIOSA *et al.*, 2012).

Já no setor agrícola temos a iniciativa de uma multinacional especializada em controle fitossanitário, que está desenvolvendo um projeto pioneiro em âmbito nacional, juntamente com a EMBRAPA, em que recompensará agricultores pela geração de créditos de carbono no quesito solo-planta, incentivando a adoção de práticas agrícolas, que aumentem a produção e ao mesmo tempo a captura e sequestro de carbono no solo, as chamadas “boas práticas” e, práticas conservacionistas. Esse projeto vem sendo desenvolvido no Brasil e nos Estados Unidos (EUA) com investimentos na ordem de 5,65 milhões de dólares em três anos.

Além dessa iniciativa, há também um programa (iniciativa Bayer) que está sendo desenvolvido e implementado com a parceria de outra multinacional, que atua na área de fertilizantes, e agricultores do Brasil, Índia, EUA e o Continente Europeu, visando o apoio aos agricultores que adotarem práticas agrícolas que tragam retornos positivos ao meio ambiente com o intuito de descarbonizar a cadeia de valor agrícola e produzir créditos de carbono agrícola.

Investimentos empresariais e parcerias público-privadas são necessários para que o Programa Patente Verde contribua de forma eficaz na questão da mitigação das mudanças climáticas, já que atividades P&D são aplicadas na busca de inovações para a agricultura, gerando sustentabilidade ao meio ambiente. A comercialização dos créditos de carbono advindos da aplicação dessas inovações seria uma possível solução para obter a compensação financeira necessária para o desenvolvimento e disseminação das descobertas advindas desse tipo de atividade (HALL; HELMERS, 2013).

Os estudos de Gurgel *et al.* (2019) sugerem a necessidade imediata da precificação do carbono, pois o Brasil possui vantagem competitiva para mitigar os GEE frente aos demais países do globo terrestre, já que possui sua matriz energética limpa (energia renovável), extensas áreas florestais e um grande potencial para transformação da agricultura convencional em agricultura de conservação.

3.4 Potencial ambiental da agricultura de conservação

A produção agrícola depende diretamente dos fatores climáticos e dos atributos de solo (químico, físico e biológico) para que a planta possa desenvolver o sistema radicular e a parte aérea de forma favorável à alta produtividade.

Os sistemas agrícolas gerenciados com práticas que visam apenas o aumento de produtividade podem não ser sustentáveis ao meio ambiente, e em contrapartida, contribuem para a degradação do solo, o que gera o aumento da emissão dos GEE. Por esse motivo, a agricultura convencional pode responder por altas taxas de emissão desses gases, pelo menos 20% da emissão total (PELLEGRINI *et al.*, 2016; GALLO *et al.*, 2017).

As atividades antrópicas envolvendo o setor agrícola, como por exemplo, o manejo incorreto do solo (excesso de revolvimento e o não uso de práticas de proteção do solo e água) e o desmatamento, contribuem para o aumento dos GEE, principalmente o dióxido de carbono (CO₂) e, conseqüentemente, o agravamento do aquecimento global (SÁ *et al.*, 2017).

Dessa forma, o agricultor possui um papel importante nesse cenário envolvendo as questões pertinentes as mudanças climáticas e aos sistemas agrícolas adotados. Os sistemas convencionais de manejo do solo podem contribuir efetivamente com a emissão dos GEE devido ao revolvimento e queima do material orgânico presente no solo, além de indiretamente incrementar a emissão pelo uso de muitos *inputs* agrícolas (adubação mineral, controle fitossanitário e aumento do número de operações mecanizadas).

Estudos apontaram que a agricultura conservacionista estoca carbono no solo de forma significativa comparada a convencional. Como exemplo, tem-se o sistema de produção cafeeira que utiliza multi práticas de manejo do solo, que preconizam a melhoria do solo e proteção da sua superfície por meio do incremento em biomassa verde e residual, denominado AP Romero, que chega a estocar mais carbono em 15 cm de espessura de solo por hectare em relação ao sistema convencional (convencional: 46,5 ton C ha⁻¹; AP Romero: 61 ton C ha⁻¹) (SERAFIM *et al.*, 2011; CARDUCCI *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2015).

Esses fatores permitem a planta suportar a escassez hídrica, característica da região e o aumento de temperatura no solo, que possivelmente serão agravadas devido ao aquecimento global. Além disso, esses sistemas

mostram potencial para geração de créditos de carbono, devido as características de manejo e uso do solo.

4 DISCUSSÕES

O Acordo de Paris foi o primeiro acordo internacional de enfrentamento das mudanças climáticas, que conseguiu reunir a maioria dos países, seja desenvolvido ou em desenvolvimento, criando um cenário mais completo com metas vinculativas para a redução de emissões de GEE e, consequente, mitigação dos efeitos das mudanças climáticas.

O acordo anterior, denominado Protocolo de Quioto, incluiu metas obrigatórias de redução de emissões de GEE, apenas para os países desenvolvidos, devido ao histórico passado de desenvolvimento industrial. Nesse sentido, o Protocolo de Quioto não foi planejado para apoiar os países em desenvolvimento cuja economia é pautada na agricultura, e sim os países industrializados, que são os maiores emissores de GEE e possuem as maiores economias mundiais, como por exemplo, Estados Unidos e a China (GALLO *et al.*, 2017).

Apesar dos países desenvolvidos serem os principais emissores de GEE, pelo alto consumo de combustíveis fósseis, na indústria, bens, serviços e agricultura, o cenário visto de forma global mostra que as questões referentes à mitigação do agravamento das mudanças climáticas, são responsabilidade de todos os países e suas consequências negativas atingem o meio ambiente de forma global.

As metas de redução ou de compensação de emissões dos GEE adotadas no Acordo de Paris, só poderão ser alcançadas em escala planetária com a adoção de energias renováveis em substituição aos combustíveis fósseis ainda utilizados com bastante força pela indústria e transporte dos países desenvolvidos. O Brasil possui uma das matrizes energéticas mais renováveis do mundo, com cerca de 45% proveniente de fontes renováveis, desse total 17% vêm da agricultura, como por exemplo, os derivados da cana (Balanço Energético Nacional, 2020).

Essas metas estipuladas para os países em desenvolvimento, como o Brasil, não são obrigatórias e provavelmente em consequência desse fator ocorre à fraca aplicação dos acordos internacionais, por meio de legislação, fiscalização e políticas públicas, visando à redução dos GEE, contribuindo significativamente para o aumento de 9% de emissões de GEE, nos anos de 2017 e 2018 (PEIXER, 2019).

Além disso, a ineficiência de políticas públicas, aliada a pressão de grupos políticos de interesse, juntamente com a instabilidade política dos últimos anos, evidenciam as dificuldades do país em cumprir suas metas diante do mundo, podendo perder sua competitividade em longo prazo, já que se tornou crescente a valorização dos bens de consumo produzidos de forma sustentável ao meio ambiente (SOARES; RAJÃO, 2018; PEIXER, 2019; GURGEL *et al.*, 2019).

O setor agrícola é um dos mais afetados pelas mudanças do clima, visto sua dependência das condições meteorológicas (precipitações, temperatura e fotoperíodo), para produtividade em larga escala. Esse setor apresenta potencial para mitigação dos gases de efeito estufa, através de práticas de conservação e preservação do solo e do meio ambiente, a exemplo dos sistemas de produção que empregam as práticas de proteção ao solo e incremento em carbono como: o sistema multi práticas para a agricultura, AP Romero; sistema plantio direto; integrações lavoura-pecuária-florestas em todas as suas modalidades; consorciações e rotações de culturas. Por muito tempo, a agricultura exerceu o papel de potencializadora do efeito estufa, devido a práticas convencionais adotadas não sustentáveis (WOLLENBERG *et al.*, 2016).

Assim, o mercado de carbono regulado agrícola seria normatizado através dos Acordos Internacionais e negociado entre países desenvolvidos que cumpririam suas metas financiando projetos sustentáveis e geradores de créditos de carbono em países em desenvolvimento. Esse mercado regulado ainda está em fase inicial para o setor agrícola, devido à complexidade de mensuração do preço e de uma mitigação rastreável dos GEE e custo para implantação dos projetos que muitas vezes não correspondem com a estimativa feita de obtenção de créditos de carbono. Como alternativa para negociação dos créditos de carbono gerados na agricultura, criou-se mercados voluntários de carbono que operam fora do âmbito das regulamentações e supervisão do MDL/ONU. No Brasil é operado pela bolsa de valores B3 sediada em São Paulo,

nesse caso o campo de regulação obrigatória seria pela Comissão de Valores Mobiliários e, assim como, os títulos verdes são regidos por normatização nacional. O mercado voluntário atua com regulamentações próprias e legislações internas de cada país, fora da fiscalização da ONU (LUDENA *et al.*, 2015).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Brasil, embora tenha instituído legislações baseadas nos acordos internacionais que incentivam: proteção ambiental, mitigação dos GEE e a produção agrícola mais sustentável, ainda carece de políticas públicas mais efetivas com subsídios próprios ou até mesmo parcerias público-privadas, pois os custos e complexidade dos projetos são elevados. Assim, o mercado de carbono ou títulos poderiam se desenvolver atingindo um maior número de transações comerciais com base na agricultura empresarial e familiar.

A agricultura na questão solo-planta não foi incluída como atividades para projetos de financiamento e investimento pelos países desenvolvidos que precisam cumprir suas metas em outro território, apesar de apresentar alto potencial no sequestro de carbono atmosférico tanto no solo quanto na parte aérea (solo-planta), quando utilizada em sistema de produção conservacionista (sistema multi práticas na cafeicultura, sistema plantio direto, integrações lavoura, pecuária e floresta, consórcios e rotações de culturas), que contribuem para mitigação dos GEE, fato comprovado em vasta literatura científica sobre as potencialidades da agricultura de conservação brasileira.

O sucesso do mercado de créditos de carbono brasileiro influenciaria positivamente a adoção da agricultura conservacionista, que além de contribuir na mitigação dos GEE, pode trazer em contrapartida ganhos financeiros aos produtores. A falta de um mercado de carbono regulado afeta a competitividade brasileira, pois a agricultura é um setor de grande importância à economia. Há iniciativas de empresas multinacionais do ramo agrícola com intuito de impulsionar o mercado voluntário de carbono, aumentando a oferta dos créditos de carbono agrícola em prol da preservação ambiental e, consequente, rentabilidade aos produtores.

Por fim, conclui-se que sistemas de produção conservacionistas, são capazes de mitigar os GEE, pela manutenção de alto teores de carbono no solo estando aptos a comercialização desse carbono, entretanto esbarra na falta de um mercado de créditos de carbono regulado ou voluntário e na escassez de aplicabilidade da legislação vigente. Assim, as políticas públicas ainda carecem de mais efetividade e alcance em larga escala, para que o país possa implantar um mercado de carbono que beneficie o setor agrícola, fortalecendo o modo de produção conservacionista.

6. REFERÊNCIAS

BEL, Germa; TEIXIDO, Jordi J. The political economy of the Paris Agreement: income inequality and climate policy. *Journal of Cleaner Production*, [s.l.], v. 258, p. 178-189, june 2020. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121002

BESKOW, Eduardo; MATTEI, Lauro. Notas sobre a trajetória da questão ambiental e principais temas em debate na Conferência Rio +20. *Revista Necat*, [s.l.], v. 1 (2), p. 4-12, julho/dezembro 2012. Disponível em: <http://incubadora.periodicos.ufsc.br/index.php/necat/article/view/2228/2587>. Acesso em: 12 de set. 2020.

BRASIL. *Lei Federal n. 12.114/2009*, de 09 de dezembro de 2009. Cria o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima. Brasília-DF, 2010. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Lei/L12114.htm. Acesso em: 12 de setembro 2020.

BRASIL. *Lei Federal n. 12.187/2009*, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC. Brasília-DF, 2010. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Lei/L12187.htm. Acesso em: 14 de setembro 2020.

CARDUCCI, Carla Eloize; OLIVEIRA, Geraldo César, CURI, Nilton; HECK R.J., ROSSONI, D.F., CARVALHO, T.S., COSTA, A.L. Gypsum effects on the spatial distribution of coffee roots and the pores system in oxidic Brazilian Latosol. *Soil & Tillage Research*, [s.l.], v. 145, p. 171–180, june 2014. doi: 10.1016/j.still.2014.09.015

FRANGETTO, Flavia Witkowski; VEIGA, Ana Paula Beber; LUEDEMANN, Gustavo. Brasília. 2018. Legado do MDL: impactos e lições aprendidas a partir da implementação do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo no Brasil. IPEA, Brasília-DF, 2018. Disponível em: https://ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&id=34532. Acesso em: abril 2020.

GALLO, Crescenzo; FACCILONGO, Nicola; PIERMICHELE, Sala. Clustering analysis of environmental, emissions: A study on Kyoto Protocols impact on

member countries. *Journal of Cleaner Production*, [s.l.], v. 172, p. 3685-3703, fev. 2017. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.07.194

GMACH, Maria Regina; DIAS, Bruno O.; SILVA, Carlos A.; NÓBREGA, Júlio C. A.; FILHO, José Lustosa; NETO Marcos Siqueira. Soil organic matter dynamics and land-use change on Oxisols in the Cerrado, Brazil. *Geoderma Regional*, [s.l.], v.14, p. 76 – 98. September 2018. doi: 10.1016/j.geodrs.2018.e00178

GURGELL, Angelo C.; PALTSEV, Sergey; BREVIGLIERI, Gustavo Velloso. The impacts of the Brazilian NDC and their contribution to the Paris agreement on climate change. *Environment and Development Economics*, [s.l.], v. 24, p. 1–18, august 2019. doi:10.1017/S1355770X1900007XEDE

HALL, Bronwyn H.; HERMERS, Christian. Innovation and diffusion of clean/green technology: Can patent commons help? *Journal of Environmental Economics and Management*, [s.l.], v. 66(1), p. 33-51, april 2013. doi: 10.1016/j.jeem.2012.12.008

HERNANDES, Elis; ZAMBONI, Augusto; FABBRI, Sandra; THOMMAZO, André Di. Using GQM and TAM to evaluate StArt – a tool that supports Systematic Review. *CLEI Eletronic Journal*, [s.l.], v. 15(1), p. 48-61, april 2012. Disponível em: <http://www.scielo.edu.uy/pdf/cleiej/v15n1/v15n1a03.pdf>

KHAN, Khalid S.; KUNZ, Regina; KLEIJNEN, Jos; ANTES, Gerd. Five steps to conducting a systematic review. *Journal of the Royal Society of Medicine*, [s.l.], v. 96, p. 118–121, march 2003. doi: 10.1177/014107680309600304

HODSON, Richard. Carbon-credit scheme linked to increased greenhouse-gas production. *Springer Nature*, [s.l.], august, 2005. Doi: 10.1038/nature.2015.18238

LEFRÈVE, Julien; WILLS, William; HOURCADE, Jean Charles. Combining low-carbon economic development and oil exploration in Brazil? An energy–economy assessment. *Climate Policy*, [s.l.], v. 18, p. 1286–1295, january 2018. doi: 10.1080/14693062.2018.1431198

LUDENA, Carlos; NETTO, Maria; RYFISH, David. Estudo sobre um potencial Mercado de Carbono no Estado de São Paulo. Banco Interamericano de Desenvolvimento. Washington DC, 2015. Disponível em: [https://publications.iadb.org/publications/portuguese/document/Estudos-sobre-mercado-de-carbono-no-Brasil-\(Resume\).pdf](https://publications.iadb.org/publications/portuguese/document/Estudos-sobre-mercado-de-carbono-no-Brasil-(Resume).pdf) . Acesso em 25 de janeiro de 2021.

MARCONI, Marina Andrade; LAKATOS, Eva Maria. *Metodologia científica*, 7. ed. São Paulo: Atlas 2017.

PAGLIOSA, Paulo Roberto; ROVAL, André Scarlate; FONSECA, Alessandra Larissa. Carbon Mismanagement in Brazil. *Nature Climate Change*, [s.l.] v. 29(11), p. 764-764, november 2012. doi:10.1038/nclimate1718

PEIXER, Janaina Freiburger Benkendorf. Brazilian policy after the Paris Agreement: early failure of the climate targets? *Revista de Direito Ambiental e Sociedade*, [s.l.], v. 9 (3), p. 57-80, setembro/dezembro 2019. Disponível em: <http://www.uces.br/etc/revistas/index.php/direitoambiental/article/view/7977/3983>

PELLEGRINI, Giustina; INGRAO, Carlo; CAMPOSEO, Salvatore; TRICASE, Caterina; CONTO, Francesco. Application of water footprint to olive growing systems in the Apulia region: a comparative assessment. *Journal of Cleaner Production*, [s.l.], v. 112, p. 2407–2418, october 2016. doi:10.1016/j.jclepro.2015.10.088

PINTO, Geraldo Estevo; PIRES, André; GEORGES, Marcos Ricardo Rosa; O Antropoceno e a mudança climática: a percepção e a consciência dos brasileiros segundo a pesquisa IBOPE. *Desenvolv. Meio Ambiente*, Paraná-PR, v. 54, p. 1-25, julho/dezembro 2020. doi: 10.5380/dma.v54i0.67833

PLANO ABC. Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura. 2012 Disponível: em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/arquivo-publicacoes-plano-abc/download.pdf>. Acesso em: abr. 2020.

PLANO ABC+. Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura. 2021. Disponível: em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/governo-federal-institui-sistema-para-monitorar-plano-abc-2021-2030>. Acesso em: abr. 2021.

QI, Shaozhou; CHENG, Shihan; CUI, Jingbo. Environmental and economic effects of China's carbono Market pilots: empirical evidence based on a DID model. *Journal of Cleaner Production*. [s.l.], v. 279, february, 2021. doi 10.1016/j.jclepro.2020.123720

RUMPEL, C.; AMIRASLANI, F.; KOUTIKA, L. S.; SMITH, P.; WHITEHEAD, D.; WOLLENBERG, E. Put more carbon in soils to meet Paris climate pledges. *Nature*. [s.l.], v. 564(7734), p. 32-34, december 2018. doi: 10.1038/d41586-018-07587-4

SÁ, João Carlos de Moraes; LAL, Rattan; CERRI, Carlos Clemente; LORENZ, Klaus; HUNGRIA, Mariangela; CARVALHO, Paulo César Faccio. Low-carbon agriculture in South America to mitigate global climate change and advance food security. *Environment International*, [s.l.] v. 98, p. 102-112, october 2017. doi.org/10.1016/j.envint.2016.10.020.

SARTO, Marcos V. M; BORGES, Wander B; SARTO, Jaqueline R. W; RICE, Charles W; ROSOLEM, Ciro A. Deep soil carbon stock, origin, and root interaction in a tropical integrated crop–livestock system. *Agroforestry Syst*, [s.l.] v. 94, p. 1865–1877, may 2020. doi:10.1007/s10457-020-00505-6

SCHNEIDER, Lambert; KOLLMUSS, Anja. Perverse effects of carbon markets on HFC-23 and SF6 abatement projects in Russia. *Nature Climate Change*, [s.l.], v. 5(12), p. 1061-1063, august 2015. doi:10.1038/nclimate2772

SERAFIM, Milson Evaldo; OLIVEIRA, Geraldo César.; OLIVEIRA, Alessandro Silva; LIMA, José Maria; GUIMARÃES, Paulo Tácito Gontijo; COSTA, Joyce Cristina. Sistema conservacionista e de manejo intensivo do solo no cultivo de cafeeiros na região do Alto São Francisco, MG: um estudo de caso. *Bioscience Journal*, [s.l.], v. 27(6), p. 964-977, november/december 2011.

SERAFIM, Milson Evaldo; ZEVIANI, Walmes Marques; ONO, Fábio Benedito; NEVES, Leonarda Grillo; SILVA, Bruno Montoani; LAL, Rattan. Reference values and soil quality in areas of high soybean yield in Cerrado region, Brazil. *Soil and Tillage Research*, [s.l.], v. 195, p. 75-92, august 2019. doi:10.1016/j.still.2019.104362

SILVA, Bruno Montoani; OLIVEIRA, Geraldo César; SERAFIM, Milson Evaldo; SILVA, Érika Andressa; FERREIRA, Mozart Ferreira; NORTON, Lloyd Darrel; CURY, Nilton. Critical soil moisture range for a coffee crop in an oxidic latosol as affected by soil management. *Soil & Tillage Research*, [s.l.], v. 154, p. 103-113, june 2015. doi: 10.1016/j.still.2015.06.013

SOARES, Britaldo Filho; RAJÃO, Raoni. Traditional conservation strategies still the best option. *Nature Sustainability*, [s.l.], v. 1(11), p. 608–610, november 2018. doi:10.1038/s41893-018-0179-9

WOLLENBERG, Eva; RICHARDS, Meril; SMITH, Pete; HAVLÍK, Petr; OBERSTEINER, Michael; TUBIELLO, Francesco N. Reducing emissions from agriculture to meet the 2 °C target. *Global Change Biology*, [s.l.], v. 22(12), p. 3859–3864, december 2016. doi:10.1111/gcb.13340

YI, Lan; BAI, Ning; YANG, Li; LI, Zhaopeng; WANG, Fe. Evaluation on the effectiveness of China's pilot Market Policy. *Journal of Cleaner Production*, [s.l.], v. 246, february 2020. doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119039 ZHANG, Xi; LI, Jian. Credit and Market risk measurement in carbono financing for chinese banks. *Energy Economics*, [s.l.], v. 76, p. 549-557, october, 2018. doi.org/10.1016/j.eneco.2018.10.036

CAPÍTULO 3

BALANÇO DE CARBONO ENTRE SISTEMAS DE PRODUÇÃO CAFEEIRA NO CERRADO MINEIRO, BRASIL

Resumo: A cafeicultura gera resultados positivos à economia do país, entretanto o relevante volume produzido em sistema convencional pode contribuir efetivamente com as emissões de gases de efeito estufa. Nosso objetivo foi estimar e comparar os impactos ambientais de dois sistemas de produção cafeeira, o convencional e o multi práticas conservacionistas, por meio da Avaliação do ciclo de vida e o estoque de carbono no solo. O estoque de carbono no solo foi calculado de acordo com o IPCC-2019. O período avaliado compreendeu os anos de 2011 a 2019, e utilizou-se dados primários para a elaboração do inventário, informações de artigos científicos, análises de carbono orgânico *in loco* e, ainda, dados da base *Ecoinvent*, sendo posteriormente modelados pelo software SimaPro. O estoque de carbono e o dióxido de carbono equivalente (CO₂eq) no solo sob sistema multi práticas foi de 49 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ e 138 Mg CO₂eq ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente, já o convencional obteve um resultado inferior, 30 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ e 110 Mg CO₂eq ha⁻¹ ano⁻¹, o incremento em carbono no sistema multi práticas foi superior a 38%. Por meio da Avaliação do Ciclo de Vida verificou-se que o sistema convencional emitiu 6,64 kg CO₂eq ha⁻¹ ano⁻¹, 41,05% a mais em relação ao multi práticas que emitiu 3,91 kg CO₂eq ha⁻¹ ano⁻¹. O balanço de carbono, no sistema multi práticas resultaram em -137.996 kg CO₂eq ha⁻¹ ano⁻¹ enquanto o convencional foi de -109.993 kg CO₂eq ha⁻¹ ano⁻¹. Na categoria de Acidificação Terrestre o sistema multi práticas, apresentou 0,0283 kg SO₂eq ha⁻¹ ano⁻¹, já o convencional resultou em 0,0472 kgSO₂eq. Na categoria de Uso da Terra os resultados foram 4,99 m² para o multi práticas e 6,25 m² para o convencional. Assim, comparativamente entre os dois sistemas o multi práticas conservacionistas é menos impactante que o convencional, em todas as categorias de impacto avaliadas. A combinação de práticas de conservação de solo, uso controlado de defensivos agrícolas, fertilizantes e redução no uso de combustível fóssil, proporcionaram a mitigação dos gases de efeito estufa (GEE). A produtividade média no convencional corresponde em média a 30 sacas ha⁻¹ e no AP Romero 50 sacas ha⁻¹ em lavoura adulta (>6 anos), contribuindo com a preservação do meio ambiente e consequente ganho econômico do produtor rural.

Palavras-chave: Agricultura Conservacionista, Balanço de Carbono, Mudanças Climáticas, Sustentabilidade, Bioeconomia.

1. Introdução

A cultura cafeeira desempenha um papel positivo para o saldo da balança comercial brasileira, já que o país ocupa a atual posição de maior produtor e exportador mundial de café (grão/matéria prima). Em 2020, foi exportado o volume físico de 44,5 milhões de sacas de 60 kg, sendo 10,3% a mais que o ano anterior, com o preço médio de US\$ 126,52 a saca, gerando uma receita cambial de US\$ 29 bilhões no ano. O Estado de Minas Gerais, maior produtor nacional, participa desse total com cerca de 34,65 milhões de sacas, correspondente ao crescimento de 41,1% em comparação ao produzido em 2019 (CONAB, 2021).

Contudo, esse volume de café produzido, quando manejado de forma convencional, pode ocasionar o aumento na emissão dos gases de efeito estufa (GEE) para a atmosfera, contribuindo com o aquecimento global e agravamento das mudanças climáticas (LOPES *et al.*, 2014). A agricultura e as mudanças no uso da terra respondem por um quarto do total das emissões globais de gases de efeito estufa (LABORDE *et al.*, 2021).

Em contrapartida há evidências científicas de que a agricultura conservacionista estoca carbono no solo de forma significativa, comparada a agricultura convencional (LUGATO *et al.*, 2017; MACHADO, 2005; SILVA *et al.*, 2013). Como exemplo, tem-se o sistema AP Romero na cafeicultura, que utiliza multi práticas conservacionistas de manejo do solo, que visam a melhoria do ambiente radicular e proteção do mesmo à erosão e compactação, sendo um de seus pilares o incremento e manutenção constante de biomassa verde e residual na superfície do solo. Os estoques de carbono nesse sistema são superiores a 56 ton C ha⁻¹ em apenas 0,15 m de profundidade, acima do estoque de carbono promovido pelo sistema convencional de produção cafeeira (46,5 ton C ha⁻¹) (CARDUCCI *et al.*, 2015; SERAFIM *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2013).

Os estudos desenvolvidos ao longo de 10 anos de pesquisa para detalhar os efeitos das práticas conservacionistas sob esse sistema, se ativeram a qualidade física, hídrica e química dos solos (CARDUCCI *et al.*, 2017; SERAFIM *et al.*, 2013; SERAFIM *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2019). No entanto, há escassez de informações a respeito do desempenho ambiental do sistema como um todo, ou seja, a associação de estudos específicos de solos e análises que validem sua qualidade ambiental, a exemplo do método de Avaliação do Ciclo de Vida

(ACV), que de acordo com os autores: Salomone (2003); Humbert et al. (2009); Noponen et al. (2012); Folegatti & Picoli (2018); Trinh et al. (2020) e Nab & Maslin (2020), é capaz de identificar as potencialidades e limitações ambientais do sistema de produção cafeeira.

Assim, o sistema multi práticas conservacionistas de produção cafeeira, pode ser capaz de fixar e manter o carbono no solo em maior quantidade ao longo do tempo, comparativamente ao sistema convencional, contribuindo para mitigação dos GEE.

Desta forma, nosso objetivo foi estimar e comparar os impactos ambientais de dois sistemas de produção, o convencional e o multi práticas conservacionistas, por meio da Avaliação do Ciclo de Vida e o estoque de carbono no solo.

2. Materiais e Métodos

2.1 Descrição da área de estudo

Os dados foram obtidos via Empresa Agropecuária Piumhi (empresa parceira na pesquisa), compreendendo o período de 2011 a 2019, conforme registros da empresa parceira. A lavoura em estudo contém 38 hectares e foi implantada em 2008 e está situada na região do Alto São Francisco, em Minas Gerais (MG), na cidade de São Roque de Minas, pertencente ao Bioma Cerrado (Figura 1).

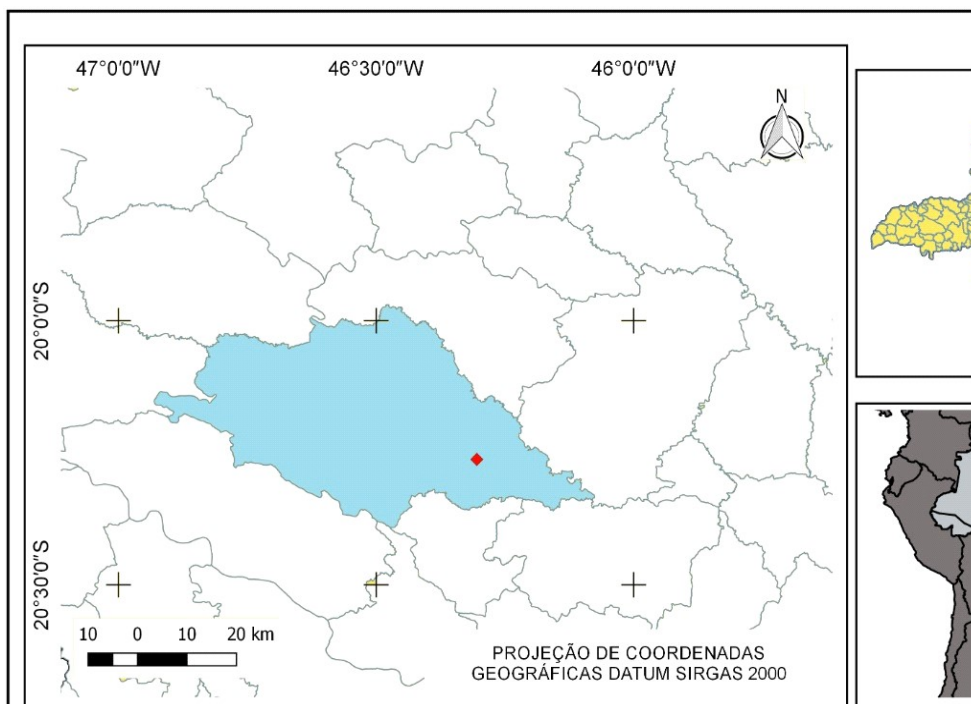


Figura 1 – Localização geográfica da área pesquisada (MG)

Nessa região o solo predominante é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico gibbsítico muito argiloso, originário de rochas pelíticas, (CARDUCCI *et al.*, 2015; SERAFIM *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2019), que correspondem a nomenclatura da US Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2014), com adaptações, ao gibbsitic Acrustox (GA), e a classe dos Ferralsols na Soil World Reference Base (IUSS Working Group WRB, 2014). Vale ressaltar que o sistema de produção cafeeira AP Romero vem sendo utilizado, comercialmente, em mais de 42 mil hectares (Centro de Pesquisa AP Romero, 2021).

2.2 Dados Meteorológicos da área de estudo

Para a obtenção dos dados meteorológicos foram utilizadas as informações contidas no INPE e do INMET, correspondentes ao intervalo de avaliação deste estudo 2008-2019.

Utilizou-se os dados de temperatura de 2008 a 2016 do Laboratório Virtual do INPE (<http://www.dsr.inpe.br/laf/series>) e de precipitação acumulada de 2008 a 2011. Os demais dados de precipitação acumulada correspondente à 2012 até 2019 foram obtidos via instalação de pluviômetros na área de estudo, já os dados de temperatura no intervalo de tempo de 2017 a 2019 foram extraídos do site do

INMET (<https://portal.inmet.gov.br/>), obtidos via estação meteorológica automática (A-565), situada na cidade de Bambuí-MG a 61,9 km de São Roque de Minas-MG, sendo a mais próxima a área em estudo que está localizada na coordenada geográfica: 0°15' 24" S e 46°18"WGr, com altitude de 900m.

2.3 Dados do inventário (*Inputs* e *Outputs*)

Os dados primários de entrada (*inputs*) para elaboração do inventário, referentes ao sistema multi práticas conservacionistas, foram: as quantidades de combustível fóssil e energia elétrica; fertilizantes NPK; fertilizantes totais (químicos e orgânicos); gesso agrícola, calcário, uso de equipamentos para poda e colheita; preparo do solo; mão de obra; mudas; quantidade de matéria orgânica do solo e produtividade. Já os dados de saída (*outputs*) foram a quantidade produzida de café verde em kg, as emissões de SO₂ e as emissões de GEE calculadas em kgCO₂eq.

As quantidades de insumos, tratos culturais, produtividade e todas as variáveis que correspondem ao sistema convencional foram baseados em dados secundários, principalmente do Agrianual (2020). Consultou-se também dados de produção cedidos pelo Instituto de Desenvolvimento Rural – IAPAR-EMATER e dos estudos de Nasser *et al.* (2012), como complemento de dados ausentes no Agrianual. Os *outputs* foram relacionados aos kg de café verde produzidos, as emissões de SO₂ e as emissões de GEE calculadas em kgCO₂eq.

2.4 Simulação de Monte Carlo

Para tratamento e maior confiabilidade dos dados e dos resultados das emissões das categorias de impactos estudadas, foi aplicada a análise de incerteza com a simulação de Monte Carlo associada a análise do inventário com auxílio da ferramenta *@Risk 6.x*, e dos resultados das categorias de impacto com o próprio software SimaPro. O intervalo de confiança utilizado foi de 95%, com dez mil iterações, onde se calculou: o valor médio das medições, o desvio padrão da amostra (S), e o desvio padrão da média (σ) (ISO, 2009).

$$s = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (xi - \bar{x})^2}}{N - 1}$$

$$\sigma = \frac{s}{\sqrt{N}} = \sqrt{\frac{\sum (xi - \mu)^2}{N(N - 1)}}$$

Onde: σ representa a análise de incerteza referente a uma estimativa do valor verdadeiro aumentando a qualidade da medição.

2.5 Balanço e estoque de carbono no solo

O levantamento do estoque de carbono no solo foi realizada com dados pontuais da lavoura cafeeira, obtidos via análise de solo, referente ao ano de 2018, além de compilar os dados de matéria orgânica do solo e,ou carbono orgânico total na linha de plantio, correspondentes a mesma área de produção cafeeira deste estudo, em nove artigos científicos (TABELA 1). A determinação do carbono orgânico presente nos artigos ocorreram via método oxidação de Walkley & Black (RANGEL *et al.*, 2007) e de combustão seca (SILVA *et al.*, 2013).

Tabela 1. Artigos científicos utilizados no levantamento do estoque de carbono no Latossolo Vermelho Distrófico sob sistema multi práticas conservacionistas de manejo do solo na camada de 0,30 m.

Artigos	COT ⁽¹⁾ g kg ⁻¹	Ds ⁽²⁾ g cm ⁻³
Silva et al. (2012)	43,50	0,86
Silva et al. (2013)	61,00	0,91
Ramos et al. (2013); Silva et al. (2014)	28,13	0,91
Carducci et al. (2014; 2015)	31,96	0,91
Silva et al. (2015; 2019)	31,96	0,92
Silva et al. (2017)	38,05	0,95

⁽¹⁾COT: carbono orgânico total do solo; ⁽²⁾Ds: densidade global do solo; ⁽³⁾EC: estoque de carbono orgânico no solo.

De posse dos dados de matéria orgânica, camada de estudo e densidade do solo extraído dos artigos citados acima e das recomendações de cálculo do IPCC (2019) e FAO (2019), calculou-se para a camada de 0,30 m o estoque de carbono orgânico no solo (Mg ha⁻¹) a partir da equação:

$$EC = \frac{Ds \times E \times COT}{100}$$

EC: Estoque de carbono orgânico total do solo (kg m⁻² ha⁻¹;

Ds: densidade global do solo (g cm⁻³);

E: espessura da camada de estudo (cm);

COT: carbono orgânico total (g kg⁻¹ ha⁻¹).

Calculou-se com base no estoque de carbono no solo o conteúdo de dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq) fixado no solo, ou seja, o sequestro do carbono atmosférico (IPCC, 2019) de acordo com a equação:

$$CO_2 \text{ eq} = 3,67 \times EC$$

CO₂ eq: sequestro de dióxido de carbono equivalente (Mg CO₂ ha⁻¹);

EC: estoque de carbono orgânico total (Mg C ha⁻¹).

Para o cálculo de balanço de carbono nos sistemas de produção convencional e multi práticas conservacionista, utilizou-se o conteúdo de carbono orgânico estocado em CO₂eq kg ha⁻¹ de acordo com o IPCC (2019) subtraindo-se do resultado referente ao cálculo de Potência de Aquecimento Global também em CO₂eq kg ha⁻¹ obtido no ACV. Descrição dos sistemas: multi práticas conservacionistas e convencional.

No sistema multi práticas, foi utilizada a cultivar Catuaí Vermelho (*Coffea Arabica*), em espaçamento semi adensado (2,65 m entrelinhas e 0,70 m entre plantas). A cultura de cobertura (*Brachiaria decumbens* Syn. *Urochloa*) é mantida roçada na entrelinha dos cafeeiros, fornecendo adubação natural à lavoura.

Na implantação da lavoura o preparo e construção da fertilidade do solo foi realizada pela incorporação de 4 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico e 1,92 Mg ha⁻¹ de gesso na área total, sendo 8 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico (2 kg m⁻¹) e fertilizante NPK (08-44-00), enriquecido com 1,5% Zn e 0,5% B, na dose de 980 kg ha⁻¹, o que equivale a 0,245 g m⁻¹, aplicado no sulco de plantio e em maior profundidade (0,60 m), associado ao emprego da dose de gesso agrícola aplicados em superfície na linha de plantio da cultura, equivalente a correção do solo a 2 m de profundidade (28 Mg ha⁻¹ ou 7 kg m⁻¹), o que possibilita o rápido crescimento vertical das raízes do cafeeiro.

O sistema multi práticas conservacionistas apresenta notável produtividade ($> 50 \text{ sc ha}^{-1}$), acima da média brasileira (30 sc ha^{-1}) (CONAB, 2021), devido as melhorias físicas, hídricas e químicas do solo, mostrando-se resiliente a falta de chuva (SERAFIM *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2013; CARDUCCI *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2015).

O plantio da lavoura é mecanizado com o uso de combustível fóssil, e aplica-se as práticas conservacionistas, perfazendo um estande total de cerca de 6.000 mudas por hectare, já no sistema convencional o total é de cerca de 3.000 mudas por hectare. Devido ao espaço reduzido na entrelinha utiliza-se a tração animal (mulas), com maquinário adaptado para manutenção da lavoura e proteção dos animais utilizados (SERAFIM *et al.*, 2011)

O plantio da braquiária é feito antes da implantação da lavoura, permitindo que essa gramínea perene seja manejada através de cortes periódicos, durante o ciclo da cultura, e todo resíduo vegetal proveniente dos cortes é direcionado para a linha de plantio, constituindo em aporte contínuo da matéria orgânica para o solo (CARDUCCI *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2016; SERAFIM *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2015).

Após o plantio da lavoura é feita uma nova adubação com fertilizante de liberação lenta. Quatro meses após o plantio é aplicado gesso e realizada a amontoa de terra na entrelinha da lavoura. A fase de implantação dura cerca de dois anos, sendo que no quinto ano a lavoura já está consolidada.

O sistema também utiliza terraços nas áreas mais declivosas e mini terraços ou enleiramento (amontoa), em todas as linhas de plantio devido ao procedimento de “chegada de terra” ao colo da planta com aproximadamente 0,50 m de altura, que associado à cobertura vegetal nas entrelinhas permite maior proteção ao solo tornando o sistema eficiente na redução de perdas de solo e água por erosão (SILVA *et al.*, 2016; SANTOS *et al.*, 2014; SERAFIM *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2015).

Já o sistema convencional, é baseado no intenso preparo do solo (aração e gradagem) e utilização de insumos agrícolas (fertilizantes minerais), que na fase de implantação resultou em 375 kg ha^{-1} e na fase produtiva utilizou-se $3.975,6 \text{ kg ha}^{-1}$ e defensivos agrícolas (agroquímicos ou agrotóxicos), sendo na fase de implantação $59,5 \text{ kg ha}^{-1}$ e na fase produtiva 302 kg ha^{-1} , além do uso de máquinas dependentes de energias não renováveis, acarretando o

desequilíbrio ecológico das regiões próximas às lavouras e podendo contaminar os recursos hídricos e edáficos (HARKES *et al.*, 2019; LOPES *et al.*, 2014).

O modo de produção cafeeiro adotado no sistema convencional é, geralmente, através de monoculturas que ocupam campos maiores de paisagem homogênea, com espaçamento entrelinhas de 4 a 6 m, sem o emprego de cobertura viva ou matéria orgânica. Os produtores que ainda utilizam apenas práticas convencionais para produção agrícola também se deparam com problemas de degradação ambiental, perda de biodiversidade, baixa produtividade e fertilidade do solo a curto e longo prazo, esses fatores tornam-se um ciclo vicioso devido ao alto custo de reparação do solo prejudicando o meio ambiente, sendo necessária a recuperação do solo degradado aliando sustentabilidade⁶ ambiental e lucro (SANTOS *et al.*, 2014). A Tabela 2, mostra as principais diferenças entre os dois sistemas cafeeiros.

Tabela 2 – Comparativo das características dos sistemas estudados

Multi Práticas Conservacionistas	Convencional
Espaçamento de 2,65 m	Espaçamento de 4 a 6 m
Sulco profundo de 0,60 m	Sulco de 0,30 m
Braquiária na entrelinha	Solo exposto
Aplicação de 28 Mg ha ⁻¹ de gesso	Sem aplicação de gesso
Sistema radicular em torno de 2,0 m	Sistema radicular em torno de 0,90 m
Uso controlado de fertilizantes e defensivos agrícolas	Uso intensivo de fertilizantes e defensivos agrícolas
*Produtividade média de 38 sacas/ ha ⁻¹	*Produtividade média de 28,7 sacas/ ha ⁻¹

*Valores relativos à produtividade, conforme CONAB (2021)

2.6 Aplicação da ferramenta de gestão de impactos ambientais: Análise do Ciclo de Vida

Neste estudo foi aplicado o método de Avaliação do Ciclo de Vida como uma ferramenta de gerenciamento de entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*) (ISO 14040, 2006;). Esse método é muito utilizado por instituições governamentais,

⁶ Conforme o economista francês Ignacy Sachs (1993), sustentabilidade ambiental é a capacidade de sustentação, absorção e recomposição que os ecossistemas apresentam diante de agressões humanas. Em justaposição a esse conceito, a Agenda 21 (ONU) define sustentabilidade ambiental como a relação sustentável entre padrões de consumo e produção em termos energético, de maneira que sejam reduzidas, ao mínimo, as pressões ambientais, o esgotamento dos recursos naturais e a poluição.

empresas de pesquisas científicas públicas e privadas (Índigo Ag) para pesquisas que embasam a tomada de decisão e norteiam as políticas públicas, e pelo setor privado para mensurar e reduzir os impactos ambientais de seus produtos para rotulagem e certificações ambientais (RUVIARO *et al.*, 2012; FOLEGATTI-MATSUURA & PICOLI, 2018).

As equivalências e estimativas dos impactos ambientais dos sistemas de manejo foram obtidas com o uso do software SimaPro versão 9.2. Este trabalho contemplou o estágio intermediário do “berço ao portão”, excluindo-se os dados referentes ao café embalado, industrializado e comercializado para o consumidor final, de acordo com a norma ISO 14040, série padrão.

Neste estudo foi demonstrado quantitativamente as contribuições para o meio ambiente dos sistemas de produção cafeeira em investigação, identificando a quantidade de emissões, sequestro e estoque de carbono no solo. Dentro do escopo, a Unidade Funcional foi de 1 kg de grão de café verde produzido (dados desde o plantio até a colheita) (ABNT - ISO, 2009).

Para caracterização dos impactos ambientais, pertinentes a este estudo, foram selecionadas as seguintes categorias: Potencial de Aquecimento Global, Acidificação Terrestre e Uso da Terra. A escolha das categorias de impactos ambientais, decorreram do fato da agricultura convencional, possivelmente, exercer um papel negativo e contribuir para o agravamento das mudanças climáticas, porém a própria natureza é capaz de transformar essa ameaça em oportunidade, pois a agricultura de conservação tem potencial para mitigação dos GEE através do solo (MACHADO *et al.*, 2005; INAGAKI *et al.*, 2017; FOLEGATTI-MATSUURA & PICOLI, 2018).

A segunda fase englobou a elaboração e análise do inventário (ICV), o inventário é a coleta de dados e os cálculos necessários a fim de quantificar as entradas dos sistemas mencionados anteriormente. Os dados foram tratados, para maior confiabilidade das estimativas, com a simulação de Monte de Carlo.

A terceira fase foi a avaliação de impacto ambiental (AICV), através da mensuração e aspectos significativos às mudanças climáticas, acidificação terrestre e mudanças de uso do solo. Essa fase visa fornecer as informações adicionais que possam contribuir para os resultados do ICV, esclarecendo a relevância do impacto ambiental, sendo importante a revisão de todos os dados quando os resultados forem de domínio público. Na última fase executa-se a

interpretação, que identificou as questões significativas com base nos resultados alcançados nas fases anteriores da ACV, assim como as conclusões, limitações e recomendações (ABNT - ISO, 2009; RUVIARO *et al.*, 2012).

Para o balanço de carbono, emitido na forma de dióxido de carbono e transformado em carbono equivalente, foi utilizado o fator de conversão de 3,67, obtido pela razão entre a massa molecular de dióxido de carbono (CO₂), igual a 44 e a massa atômica de carbono (C), igual a 12 (IPCC, 2019).

3. Resultados

3.1 Avaliação do impacto ambiental da produção cafeeira

Para melhor compreensão dos resultados, o inventário foi dividido em quatro fases principais (Figura 2): implantação, mudas, produção e colheita, considerando o ano de 2008 como inicial e os períodos subsequentes de 2009/2010 e 2010/2011 foi a fase de desenvolvimento inicial do cafezal, em que a planta ainda não produz, é também nesse período que as mudas foram cultivadas para o plantio/replanteio; e partir de 2011 até 2019 a fase produtiva da lavoura.

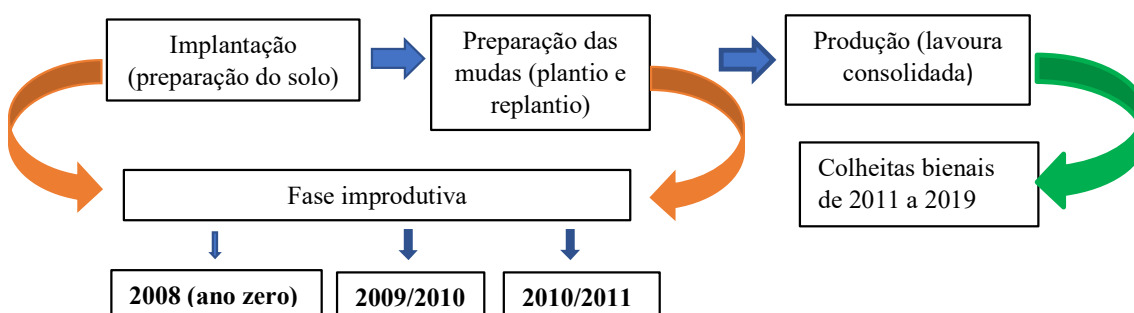


Figura 2 – Fases do inventário de acordo com o ISO 14040 e ABNT - ISO 2009.

Na fase de produção de mudas, a semeadura foi realizada em saquinhos de polietileno (10x20) com 90 furos, o que facilita posteriormente o plantio mecanizado sem a remoção do saquinho. O substrato recomendado para essa fase era enriquecido com 5% de gesso agrícola. As mudas foram produzidas na própria propriedade. Utilizou-se a variedade Catuaí Vermelho, que apresenta porte baixo e rápida adaptação as condições edafoclimáticas da região aliada a

produtividade, após 2 anos do plantio das mudas de café (safra 2010/2011) com a lavoura já estabelecida foi produzida as primeiras sacas de café.

No sistema conservacionista a produção, na fase inicial (<3 anos, idade fisiológica jovem da planta de café), já atinge em média 44 sc ha⁻¹ (sacas/hectare) enquanto no convencional chega a apenas 40 sc ha⁻¹. (CONAB, 2021; Agrianual, 2020; Silva et al., 2019). O preparo primário e o secundário para a instalação das lavouras utilizam, a aração, gradagem, calagem, sulcamento com adubação e distribuição de calcário e gesso em área total mais gesso concentrado na linha de plantio em superfície, construindo dessa forma a fertilidade física e química do solo, ou seja, um 'berço de crescimento' para as mudas de café, assegurando a conservação do solo e permitindo sua exploração econômica ao longo dos anos.

Nessa fase de implantação é semeada a braquiária (*Brachiaria decumbens* Syn. *Urochloa*) na entrelinha por meio de semeadora autopropelida. O uso de combustível fóssil (diesel) ocorre no transporte dos insumos, das mudas, na semeadura da braquiária e da mão de obra. Os estágios da coleta dos dados (inputs e outputs) e características comparativas entre o sistema conservacionista e o sistema convencional como: desenvolvimento radicular mais profundo, cultivo de braquiária na entrelinha, variedades de porte baixo, podem contribuir para o aumento de produtividade e proteção contra pragas estão representadas na Figura 3.

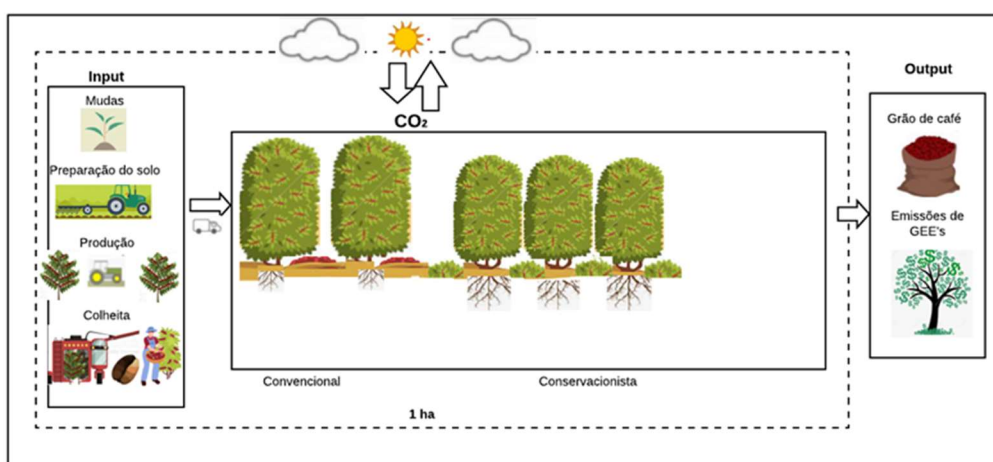


Figura 3 - Características dos sistemas convencional e multi práticas conservacionistas para a produção cafeeira e os limites do sistema .

De acordo com os resultados da ACV, considerando-se cada categoria de impacto em cada fase de produção analisada, evidenciou-se que os menores valores de impacto ocorreram para o sistema multi práticas conservacionistas, confirmando-se o melhor desempenho ambiental, comparativamente ao convencional (Tabela 3).

Tabela 3 - Avaliação dos impactos ambientais para os sistemas de produção cafeeira em estudo (1 kg de café verde).

Sistema Multi Práticas Conservacionista					
Categoria de Impacto Ambiental	Un	Mudas	Implantação	Produção	Total
Potencial de Aquecimento Global	kgCO ₂ eq	0,0002	0,278	3,6323	3,91
Acidificação Terrestre	kgSO ₂ eq	0,0018	0,0023	0,0259	0,03
Uso da Terra	m ²	0,0004	0,0155	4,971	4,97
Sistema Convencional					
Categoria de Impacto Ambiental	Un	Mudas	Implantação	Produção	Total
Potencial de Aquecimento Global	kgCO ₂ eq	0,0004	0,5223	6,1119	6,63
Acidificação Terrestre	kgSO ₂ eq	0,0029	0,0037	0,0434	0,05
Uso da Terra	m ²	0	0,0273	6,2208	6,25

A fase produtiva (2011-2019), que englobou o maior período de análise do inventário, apresentou o maior impacto ambiental em todas as categorias. É importante ressaltar que o cafeeiro demora de 2 a 3 anos para se estabelecer a campo e, então, iniciar o processo produtivo, sendo necessária a manutenção da lavoura e uso controlado de *inputs* agrícolas (fertilizantes e controle fitossanitário) e combustíveis devido as operações mecanizadas para aplicação dos insumos (SERAFIM *et al.*, 2011).

As fases de colheita e pós-colheita não foram consideradas nas análises devido ao ínfimo uso de diesel nestes processos, pois a colheita do grão verde é realizada manualmente nas áreas mais inclinadas e mecanizada com colhedora pneumática nas áreas planas. A secagem do café é feita na propriedade em terreiro de secagem e/ou silo secador.

3.1.2 Potencial de Aquecimento Global

Na categoria de Potencial de Aquecimento Global a fase produtiva apresentou maior nível de emissão, tanto no sistema convencional, que resultou

6,11 kgCO₂eq ha⁻¹ ano⁻¹, quanto no conservacionista com 3,63 kgCO₂eq ha⁻¹ ano⁻¹. A fase de produção das mudas e da implantação emitiram menores valores de GEE (Figura 4).

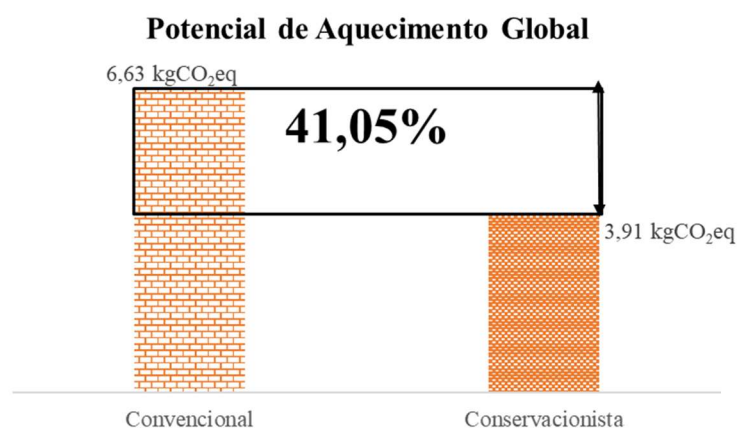


Figura 4 – Diferença percentual na categoria de Potencial de Aquecimento Global entre os sistemas convencional e multi práticas conservacionistas – AP Romero

Desses totais o combustível fóssil foi o recurso que mais emitiu GEE, além dos fertilizantes minerais, especialmente os nitrogenados e os defensivos agrícolas em terceiro lugar (Tabela 4).

Tabela 4 – Resultados comparativos dos processos que impactam o meio ambiente na categoria de Potencial de Aquecimento Global.

Fonte de Emissão	Conservacionista (kgCO ₂ eq)	Convencional (kgCO ₂ eq)
Ureia composta	2,63	4,2
Ácido nítrico	0,214	0,393
Ácido nítrico solúvel	-	0,236
Energia elétrica	0,0441	0,113
Amônia 100%	-	0,0827
Amônia líquida	0,0859	0,0682
Substâncias remanescentes	0,83	1,34

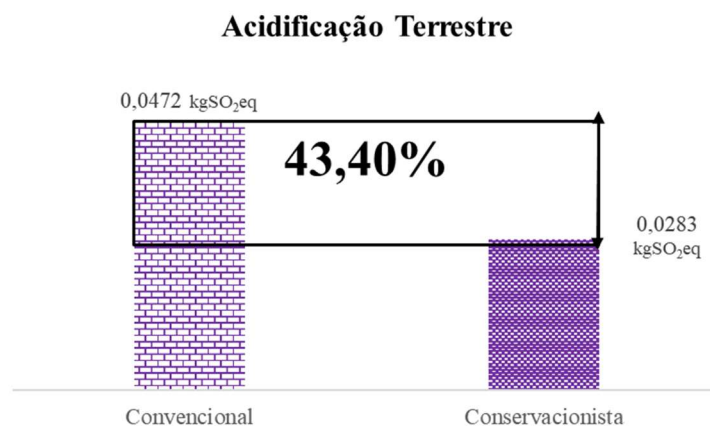
Ao longo de todo o processo de produção cafeeira, do “berço a porteira”, foram identificadas cinco substâncias químicas poluidoras do ar atmosférico (Tabela 5), a exemplo do dióxido de carbono fóssil, que mais contribuiu com as GEE em todo o processo de produção, com valores mais expressivos de emissão para o sistema convencional.

Tabela 5 – Resultados comparativos de emissões dos sistemas analisados na categoria de Potencial de Aquecimento Global

Fonte de Emissão	Conservacionista (kgCO ₂ eq)	Convencional (kgCO ₂ eq)
Dióxido de Carbono	0,0058	0,0243
Dióxido de Carbono (fóssil)	3,13	5,04
Monóxido de Nitrogênio	0,447	1,03
Diclorodifluorometano (CFC 12)	0,0105	0,0168
Metano (fóssil)	0,295	0,474
Substâncias remanescentes	0,024	0,0489

3.1.3 Acidificação Terrestre

O sistema multi práticas conservacionista apresentou resultados de menor impacto em relação ao convencional, em todas as fases de produção, totalizando 0,0283 kgSO₂eq ha⁻¹ ano⁻¹, já o convencional totalizou 0,0472 kgSO₂eq ha⁻¹ ano⁻¹, na categoria de acidificação terrestre (Figura 5). Fica evidente que o sistema convencional acidificou mais o solo, atingindo uma diferença de 43% em relação ao multi práticas.

**Figura 5** – Diferença percentual na categoria de Acidificação Terrestre entre os sistemas convencional e multi práticas conservacionistas.

A fase produtiva foi a mais impactante ao meio ambiente, sendo que o sistema conservacionista apresentou 0,0259 kgSO₂eq ha⁻¹ ano⁻¹ e o sistema convencional 0,0434 kgSO₂eq ha⁻¹ ano⁻¹. As fontes de emissões para esta categoria foram: amônia, óxido de nitrogênio e dióxido de enxofre, presentes nos fertilizantes químicos e combustível (Tabela 6).

Tabela 6 – Resultados comparativos dos processos que impactam o meio ambiente na categoria Acidificação Terrestre.

Fonte de Emissão	Conservacionista (kgSO ₂ eq)	Convencional (kgSO ₂ eq)
Amônia	0,00233	0,00557
Óxido de Nitrogênio	0,00504	0,00745
Dióxido de Enxofre	0,0341	0,0209
Substâncias remanescentes	2,52E-5	0,0341

Na Tabela 7 está apresentado, comparativamente, as substâncias e outros elementos responsáveis pelas emissões resultantes dos processos de produção cafeeira que contribuem para a redução de pH e, conseqüente, acidificação do solo no agroecossistema terrestre da área de plantio estudada.

Tabela 7 – Resultados comparativos de emissões dos sistemas analisados na categoria de Acidificação Terrestre

Fonte de Emissão	Conservacionista (kgSO ₂ eq)	Convencional (kgSO ₂ eq)
Ureia composta	0,0197	0,0315
Nitrato de amônia	-	0,00246
Ácido sulfúrico	0,000553	0,00145
Ácido nítrico	0,000751	0,00138
Eletricidade	0,000464	0,00119
Transporte	0,000239	0,000494
Substâncias remanescentes	0,0283	0,0472

3.1.4 Uso da Terra

Na categoria de Uso da Terra, o sistema multi práticas conservacionista apresentou resultados mais satisfatórios com ocupação de 4,99 m² ha⁻¹, e o convencional ocupou 6,25 m² ha⁻¹, ou seja, para produzir 1 kg de café em sistema conservacionista usa-se um espaço menor de terra agrícola, permitido também pelo espaçamento semi adensado.

Anteriormente associava-se o aumento de produtividade com o aumento de área expandida (desmatamento) o que causaria maior impacto ambiental negativo. No entanto, os resultados desse estudo mostraram o contrário, a otimização da área cultivada elevou a produtividade e a qualidade ambiental devido ao menor espaço ocupado de solo por planta (Figura 6).

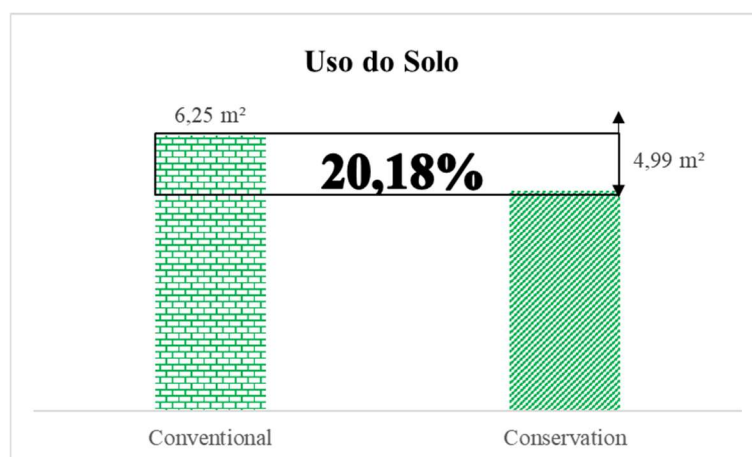


Figura 6 – Diferença percentual na categoria de Uso da Terra entre os sistemas convencional e multi práticas conservacionistas.

Na tabela 8 consta os resultados por área transformada em ocupação agrícola para plantação da lavoura cafeeira.

Tabela 8 – Resultados comparativos dos processos que impactam o meio ambiente na categoria Uso da Terra.

Terra Ocupada	Conservacionista (m²)	Convencional (m²)
Ocupação Floresta Extensiva	0,00883	0,0143
Ocupação Floresta Intensiva	0,177	0,299
Ocupação Cultura Permanente	4,8	5,93
Ocupações remanescentes	0,00537	0,00798

3.2 Estoque e balanço de carbono do solo

Ao longo do período avaliado foi possível observar a maior oscilação no sequestro de dióxido de carbono equivalente e a menor variação nos estoques de carbono total no solo (Figura 7). Os maiores picos de estoque de carbono foram registrados após 3 anos da implantação do sistema, chegando a 60 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ de acordo as referências bibliográficas consultadas. Vale ressaltar que houve diferenças na densidade do solo de cada material utilizado.

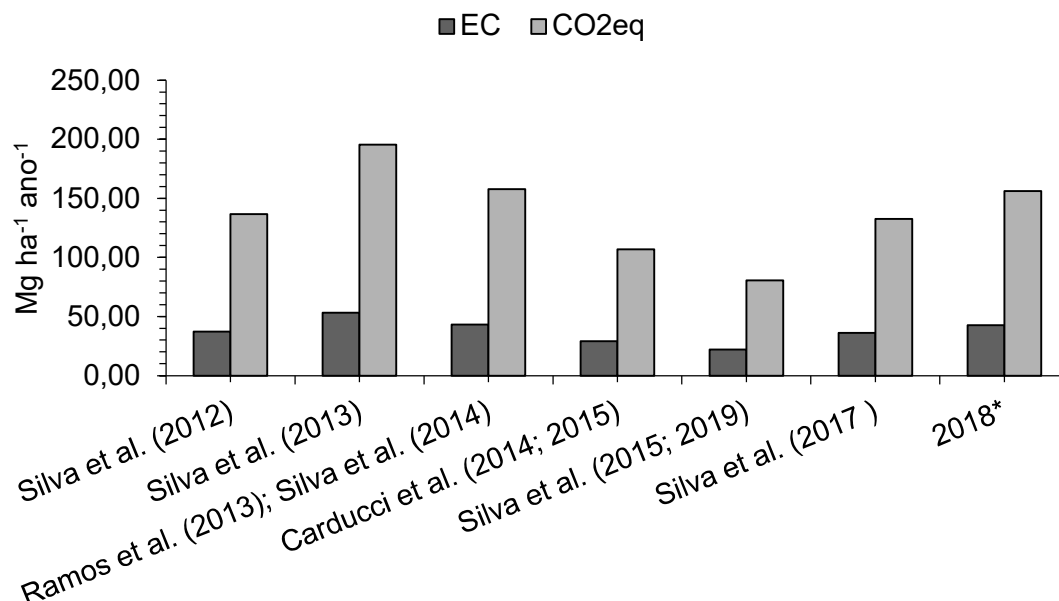


Figura 7 - Estoque de carbono orgânico e carbono equivalente (Mg ha⁻¹ ano⁻¹) do Latossolo vermelho sob o sistema de multi práticas conservacionistas. EC = estoque de carbono; CO₂eq = Dióxido de Carbono equivalente. 2018*: dado de análise de matéria orgânica do solo fornecida pela empresa.

Desse modo, o balanço de carbono no sistema multi práticas conservacionistas resultaram em -137.996 kgCO₂eq ha⁻¹. Já o sistema convencional foi de -109.993 kgCO₂eq ha⁻¹. Nesse cálculo foi subtraído o resultado das emissões do resultado do estoque de carbono no solo (Figura 8).

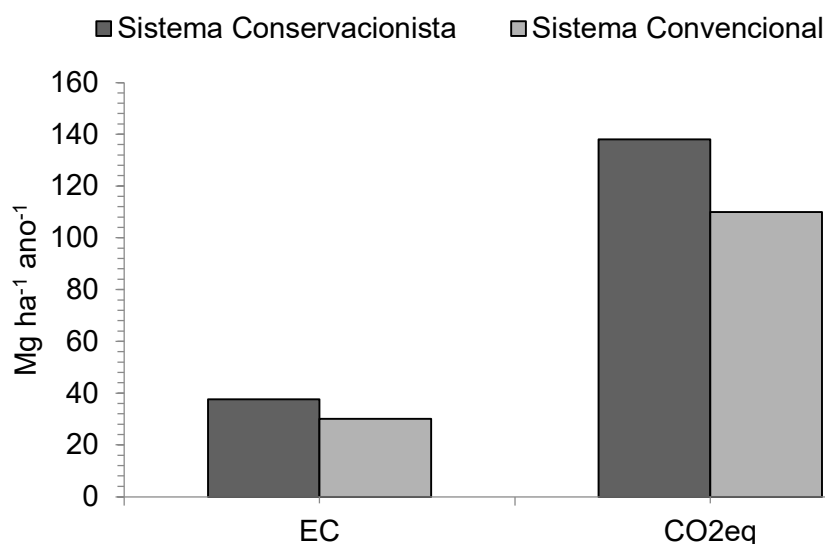


Figura 8 - Média do estoque de carbono orgânico e carbono equivalente entre os sistemas convencional e multi práticas conservacionistas. EC = estoque de carbono; CO₂eq = Dióxido de Carbono equivalente.

Salienta-se que as variações climáticas, decorrentes das precipitações pluviométricas e temperaturas oriundas de fenômenos meteorológicos, interferem diretamente nas condições de sequestro e estoque de carbono no solo.

3.3 Dados meteorológicos

Tanto as precipitações como a temperatura variaram ao longo do período avaliado (2008-2019), típico do clima da região, caracterizado como Aw de acordo com Köppen (Figura 9) (ALVARES *et al.*, 2014). Os maiores valores de precipitação foram observados nos primeiros seis meses do ano, exceto em 2014 e 2018. Já a variação de temperatura ocorreu no intervalo de 18 a 25°C.

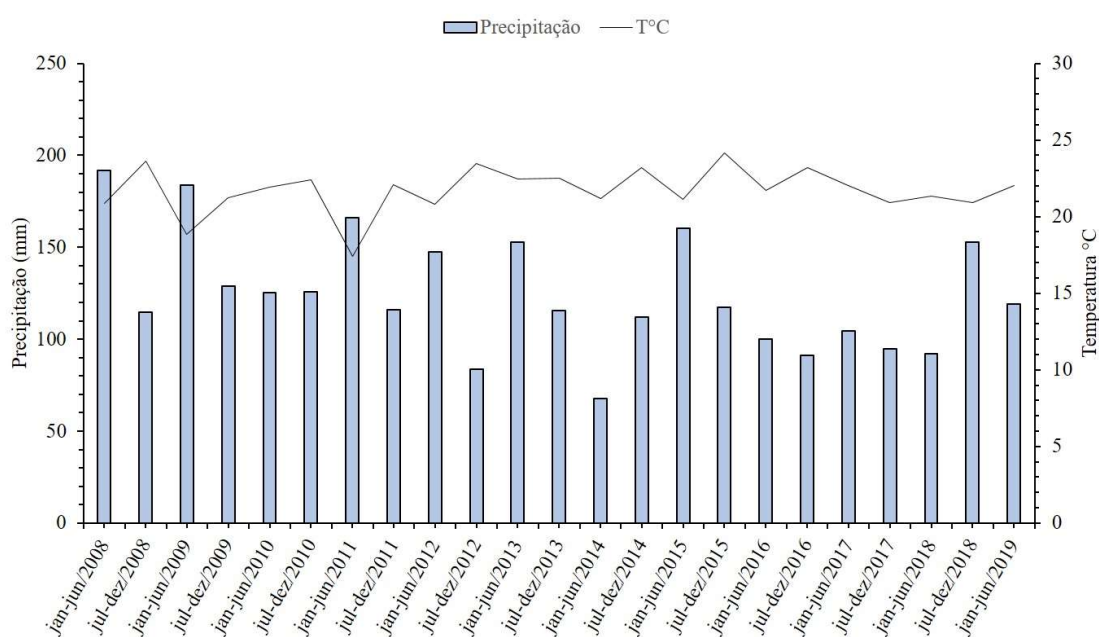


Figura 9 - Média anual das precipitações e temperatura em São Roque de Minas (MG), na região estudada. Fonte: Inmet (A-656) e Inpe.

4. Discussão

4.1 Avaliação do Ciclo de Vida na produção cafeeira

A problemática ambiental vinculada a agricultura cafeeira convencional, deve servir como embasamento para adoção de práticas conservacionistas,

unindo sustentabilidade ambiental, resiliência e ganhos monetários, sendo essa uma prática fundamental para a conservação do solo, pois protege a diversidade biológica favorecendo o sequestro de carbono pelo mesmo (BRIEDIS *et al.*, 2016; INAGAKI *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2013).

Essa transição deve ocorrer de forma gradual, visando a correção do solo e redução ou substituição gradativa da utilização de fertilizantes químicos e defensivos agrícolas por fontes alternativas (orgânica, biológica e roçagens). De acordo com a literatura, o produtor não consegue arcar com os prejuízos de deixar de produzir enquanto corrige problemas de solo como, as erosões por exemplo, dessa forma é necessário mecanismos e ideias inovadoras que possam orientar a como proceder na adoção de sistemas de manejo conservacionista resiliente (SANTOS *et al.*, 2014).

Neste sentido, a fim de mensurar o potencial impacto ambiental dos sistemas avaliados, utilizou-se a ferramenta de ACV que apresenta embasamento completo e ampla aceitação no âmbito científico. A ACV engloba os fluxos desde a retirada dos recursos da natureza, das matérias primas que compõem o sistema produtivo até o produto acabado oferecido ao consumidor. Além disso, é capaz de gerar elementos que possibilitam a compreensão do desempenho ambiental de forma negativa ou positiva, podendo comparar dois ou mais processos visando o auxílio a sustentabilidade ambiental (BAITZ *et al.*, 2013).

Conforme Folegatti & Picoli (2018), os dados para elaboração do inventário do ACV referentes as estimativas das emissões de GEE no Uso da Terra para agricultura precisam ser melhorados para que aumente a confiabilidade dos resultados, como por exemplo: a quantidade e especificação de metais pesados encontrados em defensivos.

Ademais, estudos que englobam a ACV na área agrícola são mais escassos em comparação a área industrial, sendo que a última geralmente não inclui aspectos relacionados ao uso do solo. O manejo inadequado do solo pode interferir, de forma mais acentuada, na qualidade do solo e alterar o ecossistema (Serafim *et al.*, 2013; Silva *et al.*, 2019), já que o equilíbrio do meio ambiente ocorre através da captura de CO₂ durante a reação da fotossíntese das plantas que necessitam do solo e de seus nutrientes disponíveis no solo para se desenvolver (FOLEGATTI-MATSUURA & PICOLI, 2018; TRINH *et al.*, 2020).

Os estudos de Bessou et al. (2013) analisaram mais de 100 artigos com estudos relevantes sobre a aplicação do método ACV em culturas perenes, a exemplo do café, mostrando que culturas perenes diferem das anuais em vários aspectos que podem influenciar drasticamente nas estimativas do impacto ambiental, dada a dificuldade de coleta de dados de todo o ciclo. Assim, sugere-se a coleta de dados desde a implantação até o final do ciclo e quando não for possível a coleta de dados primários, pode-se usar dados secundários, como realizado nesse estudo, com dados primários. Nesse sentido, os resultados referentes as emissões contemplam todo o ciclo, de acordo com os dados das fases do inventário e não anual como no caso de culturas que não são perenes.

No estudo realizado por Hicks e Heather (2019) a ACV foi utilizada para o caso específico do café pronto para beber, ou seja, a bebida, iniciando os dados de entrada do inventário a partir da colheita do café, nesse estudo ele reportou que quanto mais processado o café, maior é o potencial de aquecimento global.

Por outro lado, Coltro et al. (2006), desenvolveram um trabalho, por meio do método ACV para caracterizar um sistema de produção ambientalmente correto das lavouras cafeeiras convencionais nos Estados de Minas Gerais e São Paulo utilizando valores mínimos de quantidade de insumos agrícolas, fertilizantes, corretivos e defensivos, bem como, o consumo de energia e água. Os autores observaram uma ampla variação nas quantidades de *inputs* do inventário entre as lavouras participantes da pesquisa, sendo a maior variação observada aquela correspondente à quantidade de água utilizada para a lavagem dos resíduos de café no estágio de processamento. O estudo reportou também que para a produção de 1.000 kg de café verde no Brasil é necessário, aproximadamente, 11.400kg de água, 94 kg de diesel, 270 kg de fertilizantes como NPK, 900 kg de fertilizantes totais, 620 kg de corretivos, 10 kg de defensivos e 0,05 ha de uso anual da terra

Assim, uma das principais dificuldades encontradas para o correto estudo da ACV, de forma comparativa entre sistemas agrícolas, como neste estudo, consiste na pesquisa dos dados para o inventário já que muitas vezes esses dados são confidenciais, como exemplo: a quantidade de fertilizantes sintéticos, defensivos agrícolas (princípios ativos e quantidades reais) e diesel, e sua publicação pode revelar aspectos da tecnologia e modo de produção utilizados (MOURAD *et al.*, 2007).

4.2 Potencial de Aquecimento Global e Balanço de Carbono

Os resultados comparativos, na categoria de Potencial de Aquecimento Global, mostram que o sistema conservacionista causa menos impacto ambiental em relação ao convencional (Tabela 1), devido ao conjunto de práticas conservacionistas eficientes e sustentáveis aplicadas ao solo, a exemplo da braquiária na entrelinha aliadas ao uso de fertilizantes e defensivos agrícolas de forma controlada conforme a necessidade da planta. O uso da tração animal, que reduz a queima de combustíveis fósseis, e adaptação dos equipamentos para executar duas operações em uma única, como adubação e controle de planta espontânea, representa outro fator importante na redução da emissão de gases de efeito estufa na produção cafeeira (SERAFIM *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2013).

O uso de fertilizantes químicos contribuiu para o elevado nível de emissão na fase produtiva, muito embora o sistema conservacionista faça uso de uma quantidade reduzida em relação ao sistema convencional. Essa quantidade é calculada criteriosamente para fornecer a nutrição necessária ao desenvolvimento e produtividade da planta, em quantidades controladas, com base nas análises de solo anuais e, a análise foliar para monitoramento da necessidade de nutrientes pelo menos 4 vezes ao ano, sem incorrer em excessos e prejuízos ao meio ambiente, pois uma aplicação excessiva de fósforo no solo faria com que a planta não fosse capaz absorvê-lo totalmente e, conseqüentemente, o fósforo ficaria adsorvido ao solo (SERAFIM *et al.*, 2011; Ramos *et al.*, 2019).

No sistema convencional cerca de 90% das emissões resultam do uso excessivo de fertilizantes, já no conservacionista o consumo de fertilizantes é cerca de 10% menor, sendo consistente com os estudos de Nojonen *et al.* (2012) e Trinh *et al.* (2020).

Os resultados do carbono orgânico do solo corroboram aos estudos de Silva *et al.* (2013) e Carducci *et al.* (2015), que verificaram efeitos significativos na melhoria da qualidade física do solo e incrementos em carbono orgânico total no sistema como um todo. Esses incrementos são resultantes do conjunto de multi práticas conservacionistas adotadas, não sendo possível separar os efeitos

da gramínea, da dose de gesso e das demais práticas conservacionistas utilizadas nesse sistema de produção cafeeira.

Salienta-se, ainda, que a precipitação e a temperatura, são eventos capazes de controlar, em escala regional, o processo de decomposição da matéria orgânica do solo e, conseqüentemente, a atividade dos microrganismos, sendo a taxa de decomposição mais baixa em climas mais secos. Assim, a distribuição de chuvas e a umidade do solo seriam os principais fatores na regulação da biomassa microbiana, influenciando diretamente no sequestro e estoque de carbono do solo (ASSAD *et al.*, 2013; BRIEDIS *et al.*, 2016). No entanto, esses fatores sofrem interferências dos fenômenos meteorológicos como: o El niño e a La niña (DIAS *et al.*, 2020; ROSENZWEIG *et al.*, 2014).

O sequestro e estoque do carbono no solo ocorre em conformidade com o ciclo do carbono. As plantas absorvem luz solar e CO₂ do ar, por meio da fotossíntese; parte do CO₂ é usado para crescimento de galhos e folhas, e outra parte, é transportado pelas raízes até o solo. Esse CO₂ irá alimentar os microrganismos do solo, que vão ajudar a planta a obter nutrientes. Os microrganismos são responsáveis por criar complexas e estáveis moléculas orgânicas que resultam em formas de carbono. Se o solo for manejado corretamente, continuará armazenando carbono (HILTON & WEST, 2020; INAGAKI *et al.*, 2019). Nesse sentido, o balanço de carbono, deste estudo, espelhou a capacidade desse sistema em sequestrar e estocar carbono no solo.

Os resultados, pertinentes a categoria de Potencial de Aquecimento Global, corroboram os estudos de ACV de Salomone (2003), Humbert *et al.*, (2009), Noponen *et al.*, (2012) e Thrin *et al.*, (2020). Esses estudos mostraram que melhorias no consumo de combustível fóssil e na eficiência energética, impactaram positivamente no potencial de aquecimento global da cafeicultura, além disso impactos positivos, em toda a cadeia, seriam alcançados com a adoção de práticas conservacionistas no cultivo agrícola, conforme corrobora este estudo.

Já a agricultura convencional cafeeira é conhecida pelo uso intensivo de defensivos agrícolas, fertilizantes e energia não renovável para otimização do processo produtivo, esses fatores agravam a emissão de GEE. Estudos da Nicarágua, Costa Rica, Finlândia e Vietnã também identificaram, através da ACV, que esses fatores são os principais responsáveis na emissão de GEE no

cultivo do café (BESSOU *et al.*, 2013; BOSSIO *et al.*, 2020; NOPONEN *et al.*, 2012; TRINH *et al.*, 2020; USVA *et al.*, 2020).

4.3 Acidificação terrestre

Os resultados da categoria de Acidificação Terrestre evidenciam que o sistema conservacionista causou menor impacto ambiental em relação ao convencional, devido, em parte, a menor necessidade de aplicação de fertilizantes nitrogenados no solo.

Os estudos de Lal (2018) e Malik *et al.* (2018), apoiam esses resultados, pois as práticas de manejo de solo adotadas que previnam a erosão eólica e hídrica, bem como a diminuição do uso de adubos nitrogenados aliadas ao uso menos intensivo do solo, práticas essas inseridas no sistema conservacionista, contribuem para minimização de alterações no pH do solo e a consequente perda de carbono orgânico. Assim práticas de manejo menos intensivas, como o plantio da braquiária, geram maior potencial para armazenamento de carbono e eficiência microbiana, pois amenizam a acidificação do solo devido a diminuição da temperatura, aeração, aumento da cobertura do solo, agregação e do não fracionamento e incorporação dos resíduos vegetais (INAGAKI *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2013; Carducci *et al.*, 2015).

4.4 Uso da Terra

Dados da CONAB (2020), mostram que no intervalo compreendido entre os anos de 1997 a 2018 houve uma redução da área produtiva e aumento da produtividade cafeeira no Brasil, sendo que, no ano de 1997 a área produtiva era de 2,4 milhões de hectares e a produção de 18,9 milhões de sacas de 60 kg, com produtividade equivalente a 8,0 sacas ha^{-1} , já em 2018 a área produtiva foi de 1,86 milhão de hectares e o país produziu 61,66 milhões de sacas de 60 kg, com produtividade de 33,07 sacas ha^{-1} . Assim, denota-se o potencial de crescimento de produtividade e o uso mais eficiente da terra.

Os resultados na categoria de Uso da Terra evidenciaram que o sistema conservacionista conseguiu produzir mais, utilizando uma menor área quando comparado ao sistema convencional, devido ao plantio semi adensado que

otimiza o uso do solo preservando a dinâmica da matéria orgânica e o acúmulo de carbono no solo (INAGAKI *et al.*, 2017; BRIEDIS *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2013).

Para Usva *et al.* (2020), a Uso da Terra é um fenômeno complexo e seus impactos devem ser avaliados através da ACV, para que essa fonte não seja negligenciada. Mudanças no uso da terra de florestas para culturas agrícolas perenes, como no Brasil, causam impactos climáticos, pois a biomassa acima do solo é perdida e o carbono no solo é liberado para atmosfera como consequência do desmatamento.

Conforme os estudos de Winkler *et al.* (2021), o Uso da Terra impulsionada pela expansão agrícola, causa impactos negativos ao clima e degradação no ecossistema. Antes do advento da queima de combustível fóssil industrial, essa conversão de paisagem era a maior fonte de emissões de GEE.

Além disso, a necessidade de avanço da produção agrícola surge como consequência do crescimento populacional e aumento do consumo (SAATH & FACHINELLO, 2018) e, por outro lado, a maior demanda por terras agricultáveis pode resultar em nova abertura de áreas, aumento na emissão de GEE e aumento de preços dessas áreas.

Assim, se faz necessário a implantação de sistemas conservacionistas, como o deste estudo, multi práticas conservacionistas - AP Romero, que aliam práticas de conservação do solo e água, plantio semi adensado e aumento de produção sem ampliar a área cultivável.

5. Considerações Finais

A preservação ambiental aliada ao aumento de produtividade e resiliência, tem se mostrado um paradigma ideal para que sistemas agrícolas possam se adequar as novas exigências mundiais quanto a mitigação dos GEE e contribuir para a minimização das mudanças climáticas.

Embora exista consenso na literatura de que sistemas conservacionistas são mais sustentáveis para preservação do meio ambiente, nosso trabalho além de corroborar com esta afirmação, quantificou através do uso da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida, que o sistema conservacionista causa menos

impacto ambiental em relação ao convencional e, ainda, consegue conciliar preservação ambiental e aumento de produtividade.

Assim, os resultados deste estudo mostraram que a etapa de produção agrícola do café é a responsável pelo maior impacto ambiental, tanto no sistema convencional quanto no multi práticas conservacionistas. Devido ao uso, em maior quantidade, de fertilizantes, defensivos agrícolas, combustíveis fósseis e ao manejo de solo inadequado (revolvimento, solo exposto, baixo conteúdo de matéria orgânica), esses fatores contribuem potencialmente para o aquecimento global e acidificação dos solos.

Nesse sentido, melhorias no consumo de combustível e a adoção de manejo de solo com práticas conservacionistas, as chamadas boas práticas de manejo do solo, aliadas ao uso eficiente de insumos para produção cafeeira de forma controlada, permitiriam que as emissões atmosféricas fossem reduzidas.

Os resultados comparativos refletem a situação do cenário atual, pertinentes as exigências de soluções para a redução de impactos ambientais no setor agrícola, em particular na mitigação dos GEE.

Sistemas multi práticas conservacionistas, como o AP Romero, devem servir para todos os agentes do setor agrícola, desde os produtores, consultores, governo e demais tomadores de decisão, possam contribuir para o desenvolvimento de normatizações que possam orientar os agricultores a se adequarem as exigências mundiais para preservação ambiental com aumento de produtividade.

Ademais, este estudo demonstrou a relevância da parceria entre a academia e o setor privado rural quanto ao uso dos conhecimentos advindos da ciência, visando quantificar os impactos ambientais de forma prática, aplicada e comparativa.

Os autores sugerem estudos comparativos futuros, com ampliação do escopo do estudo, analisando toda a cadeia, do berço ao túmulo, a fim de avaliar os impactos ambientais associados a todas as fases da cafeicultura, ou seja, desde a implantação até o consumo da bebida.

6. Referências

- ALVARES, C. A. *et al.*, Köppen' s climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 22(6), 711-728, 2014. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ASSAD, E. D. *et al.* Changes in soil carbon stocks in Brazil due to land use: Paired site comparisons and a regional pasture soil survey. **Biogeosciences**, v. 10, n. 10, p. 6141–6160, 2013. <https://doi.org/10.5194/bg-10-6141-2013> .
- BAITZ, M. *et al.* LCA's theory and practice: Like ebony and ivory living in perfect harmony? International. **Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 1, p. 5–13, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0476-x> .
- BESSOU, C. *et al.* LCA Applied to perennial cropping systems: A review focused on the farm stage. **International Journal of Life of Cycle Assessment**, v. 18, n. 2, p. 340-361, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0502-z> .
- BOSSIO, D. A. *et al.* The role of soil carbon in natural climate solutions. **Nature Sustainability**, v. 3, n. 5, p. 391-398, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0491-z> .
- BRIEDIS, C. *et al.* Can highly weathered soils under conservation agriculture be C saturated? **Catena**, v.147, p. 638-649, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.08.021> .
- CARDUCCI, C. E. *et al.* Visual analysis and X-ray computed tomography for assessing the spatial variability of soil structure in a cultivated Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 173, p. 15–23, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.03.006> .
- CARDUCCI, C.E. *et al.* Retenção de água do solo sob sistema conservacionista de manejo com diferentes doses de gesso. **Revista de Ciências Agrárias - Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 58, n. 3, p. 284-291, 2015. <https://doi.org/10.4322/rca.2014> .
- COLTRO, L. *et al.* Environmental profile of Brazilian green coffee. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 11, n. 1, p. 16-21, 2006. <https://doi.org/10.1065/lca2006.01.230> .
- DA SILVA, É. A. *et al.* Aggregates morphometry of a Inceptisol under conservationist system. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 3, p. 1165-1176, 2016. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n3p1165> .
- DIAS, L. A. Mudanças climáticas nos ecossistemas agrícolas e naturais: medidas de mitigação e adaptação. **Agropecuária Catarinense**, v. 33, n. 2, p. 82-87. <https://doi.org/10.52945/rac.v33i2.523> .
- FOLEGATTI-MATSUURA, M. I. S; PICOLI, J. F. .Life Cycle Inventories of

Agriculture, Forestry and Animal Husbandry – Brazil. **Sustainable Recycling Industries**, p. 1-143, 2018.

HARKES, P. *et al.* Conventional and organic soil management as divergent drivers of resident and active fractions of major soil food web constituents. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1-15, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49854-y>.

HILTON, R. G.; WEST, A. J. Mountains, erosion and the carbon cycle. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 1, n. 6, p. 284-299, 2020. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0058-6>.

HUMBERT, S. *et al.* Life cycle assessment of spray dried soluble coffee and comparison with alternatives (drip filter and capsule espresso). **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 15, p. 1351-1358, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.04.011>.

INAGAKI, T. M. *et al.* Why does carbon increase in highly weathered soil under no-till upon lime and gypsum use? **Science of the Total Environment**, p. 523-532, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.234>.

LABORDE, D. *et al.* Agricultural subsidies and global greenhouse gas emissions. **Nature Communications**, v. 12 n. 1, p. 1-9, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22703-1>.

LAL, R. Digging deeper: A holistic perspective of factors affecting soil organic carbon sequestration in agroecosystems. **Global Change Biology**, v.24, n.8, p. 3285-3301, 2018. <https://doi.org/10.1111/gcb.14054>.

LOPES, P. R. *et al.* Agravamento das Mudanças climáticas. **REDD - Revista Espaço de Diálogo e Desconexão**, v.8, n. 1, 2014.
LUGATO, E. *et al.* Complementing the topsoil information of the Land Use/Land Cover Area Frame Survey (LUCAS) with modelled N₂O emissions. **Plos One**, v. 12, n. 4, p. 1-16, 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176111>.

MACHADO, P. L. O. Soil carbon and the mitigation of global climate change. **Química Nova**, v. 28, n. 2, p. 329-334, 2005. <https://doi.org/10.1590/s0100-40422005000200026>.

MALIK, A. A. *et al.* Land use driven change in soil pH affects microbial carbon cycling processes. **Nature Communications**, v. 9, n. 1, p. 1-10, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05980-1>

MOURAD, A. L. *et al.* A simple methodology for elaborating the life cycle inventory of agricultural products. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 12, n. 6, p. 408-413, 2007. <https://doi.org/10.1007/s11367-006-0272-6>.

NAB, C; MASLIN. Life cycle assessment synthesis of the carbon footprint of Arabica coffee: Case study of Brazil and Vietnam conventional and sustainable

coffee production and export to the United Kingdom. **Geo: Geography and Environment**, v. 7, n. 2, p. 1-19, 2020. <https://doi.org/10.1002/geo2.96> .

NASSER, M.D. *et al.* Análise econômica da produção de café arábica em são sebastião do paraíso, estado de minas gerais. **Informações Econômicas**, v. 42, n. 2, p. 5-12, 2012.

NOPONEN, M. R. A. *et al.* Greenhouse gas emissions in coffee grown with differing input levels under conventional and organic management. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 151, p. 6-15, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.01.019> .

RANGEL, O. J. P. *et al.* Estoque e frações da matéria orgânica de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. **Revista Brasileira de Ciência Do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1341-1353, 2007 <https://doi.org/10.1590/s0100-06832007000600013>.

ROSENZWEIG, C. *et al.* Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v.111, n. 9, p. 3268-3273, 2014. <https://doi.org/10.1073/pnas.1222463110> .

RUVIARO, C. F. *et al.* Life cycle assessment in Brazilian agriculture facing worldwide trends. **Journal of Cleaner Production**, v. 28, p. 9-24, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.10.015> .

SAATH, K. C. de O; FACHINELLO, A. L. Crescimento da Demanda Mundial de Alimentos e Restrições do Fator Terra no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 56, n. 2, p. 195-212, 2018. <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-94790560201> .

SALOMONE, R. Life Cycle Assessment applied to coffee production : investigating environmental impacts to aid decision making for improvements at company level. **Journal of Food Agriculture and Environment**, 2003.

SANTOS, W. J. R. *et al.* Soil moisture in the root zone and its relation to plant vigor assessed by remote sensing at management scale. **Geoderma**, v. 222, p. 91-95, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.01.006> .

SERAFIM, M. E. *et al.* Disponibilidade hídrica e distinção de ambientes para cultivo de cafeeiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 4, p. 362-370, 2013. <https://doi.org/10.1590/s1415-43662013000400002> .

SERAFIM, M. E. *et al.* Sistema conservacionista e de manejo intensivo do solo no cultivo de cafeeiros na região do alto São Francisco, MG: Um estudo de caso. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 6, p. 964-977, 2011.

SILVA, B. M. *et al.* Critical soil moisture range for a coffee crop in an oxidic latosol as affected by soil management. **Soil and Tillage Research**, v. 154, p.

103-113, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.06.013> .

SILVA, B. M. *et al.* Soil moisture associated with least limiting water range, leaf water potential, initial growth and yield of coffee as affected by soil management system. **Soil and Tillage Research**, v. 189, p. 36-43, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.12.016> .

SILVA, E. A. Doses crescentes de gesso agrícola, estabilidade de agregados e carbono orgânico em Latossolo do Cerrado sob Cafeicultura. **Revista de Ciências Agrárias - Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 56, n. 1, p. 25-32, 2013. <https://doi.org/10.4322/rca.2013.012> .

TRINH, L. T. K. *et al.* Comparative life cycle assessment for conventional and organic coffee cultivation in Vietnam. **Journal of Environmental Science and Technology**, v. 17, n. 3, p. 1307-1324, 2020. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02539-5> .

USVA, K. *et al.* Carbon and water footprint of coffee consumed in Finland—life cycle assessment. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 25, n. 10, p. 1976-1990, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01799-5> .

WINKLER, K. *et al.* Global land use changes are four times greater than previously estimated. **Nature Communications**, v. 12, n. 1, p. 1-10, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22702-2> .

CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aquecimento global e as mudanças climáticas são termos de destaque em tempos atuais, e suas possíveis consequências ameaçam o sistema capitalista e a continuidade da raça humana no planeta terra. Embora as catástrofes naturais e os impactos ambientais, como secas extremas, inundações e tornados aconteçam desde os tempos primórdios, percebe-se que as atividades antrópicas colaboram para que esses fenômenos aconteçam com mais frequência e magnitude.

Em tempos atuais a ONU em parceria com órgãos científicos como o IPCC, têm envidado esforços no cenário mundial para que os líderes políticos, de forma conjunta, apresentem metas para reverter essa situação.

O setor agrícola, que produz alimentos e matéria prima para indústria, é extremamente afetado pelos fenômenos climáticos, sendo que os agricultores familiares são os mais prejudicados economicamente pela falta de recursos financeiros para investimento em tecnologias e conhecimento técnico para implantação de sistemas resilientes a essas condições climáticas.

A produção agrícola, principalmente em larga escala, e preservação ambiental há algum tempo não trabalhavam juntas, pois o lucro seria mais importante que a preservação dos recursos naturais.

Este estudo demonstra que a agricultura conservacionista em comparação a convencional, é capaz de aliar produtividade e mitigação de GEE com possibilidade de geração de créditos de carbono, embora o Brasil ainda não tenha implantado um mercado de carbono agrícola de maneira sólida e a política nacional atual seja tendenciosa a priorizar interesses de uma minoria que ainda enxerga o lucro em detrimento aos recursos ambientais.

Mas, por se tratar de exigências em âmbito global, é só questão de tempo para que o Brasil se alinhe a essa nova condição, e quem sabe possa até se tornar uma potência mundial na questão de commodities de créditos de carbono, suprimindo a demanda global. O fato positivo é que já existe legislações nacionais e estaduais que amparam essa temática.

Além disso, práticas conservacionistas estão agregando valor aos produtos, pois os consumidores estão sendo conscientizados da necessidade de preservação ambiental como fator positivo para a saúde humana. Surge então

uma adequação necessária desde a produção agrícola do grão do café de forma sustentável para se manter no mercado agregando valor e obtendo lucro, vertente principal do capitalismo.

Assim, ferramentas como o ACV permitem verificar o impacto ambiental e comparar sistemas, permitindo aos produtores rurais adotar práticas conservacionistas que possam gerar compensação financeira como os créditos de carbono, pois muitos agricultores ainda preferem adotar práticas convencionais, que já são aplicadas nas lavouras com receio de perda de produtividade e consequente prejuízo. Estudos como este comprovam que práticas conservacionistas além de preservar a qualidade do solo reduzindo custos com recuperação de áreas degradadas e mitigar os GEE, é capaz de maximizar a produtividade.

Como limitação do estudo pode ser identificada a regionalização da proposta que abrange apenas o Estado de Minas Gerais. A adoção das multi práticas conservacionistas no Estado de Mato Grosso do Sul, por exemplo, pode apresentar resultados não tão favoráveis, devido a diferenciação do solo e clima. Ademais, não foi possível realizar a visita técnica na área estudada, por vezes agendada com os proprietários da fazenda, em decorrência da pandemia de Covid-19. A visita técnica permitiria o contato direto com a execução do sistema, mas esse fator não impediu o desenvolvimento da pesquisa, pois todos os dados e esclarecimentos de dúvidas foram enviados pela equipe do Centro de Pesquisa AP Romero.

Sugere-se trabalhos comparativos do berço ao túmulo aplicando o ACV relativos à cafeicultura, bem como trabalhos comparativos que contemplem a parte econômica para mensurar a viabilidade econômica de implantação de um sistema multi práticas conservacionistas.