



ANÁLISE DO CICLO DE VIDA E BALANÇO DE CARBONO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO  
CAFEIEIRA DO CERRADO MINEIRO, BRASIL

LIFE CYCLE ASSESSMENT AND CARBON BALANCE IN COFFEE PRODUCTION SYSTEMS IN  
CERRADO MINEIRO, BRAZIL

ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA Y BALANCE DE CARBONO EN LOS SISTEMAS DE  
PRODUCCIÓN DE CAFÉ EN EL CERRADO MINEIRO, BRASIL

Carla Eloize Carducci<sup>1</sup>, Cíntia Ferreira Anis<sup>2</sup>, Daiane Pereira de Souza<sup>3</sup>, Joyce Cristina Costa<sup>4</sup>, Clandio Favarini Ruviaro<sup>5</sup>

e4124690

<https://doi.org/10.47820/recima21.v4i12.4690>

PUBLICADO: 12/2023

**RESUMO**

O objetivo foi estimar os impactos ambientais entre os sistemas de produção cafeeira convencional (CV) e múltiplas práticas conservacionistas (MC), por meio da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e dos estoques de carbono orgânico no solo. O período do inventário foi de 2008 a 2018. Utilizou-se dados primários das etapas de produção, artigos científicos, carbono orgânico *in loco* e a base *Ecoinvent versão 3.7*, analisados no *SimaPro versão 9.2*. Os estoques foram calculados de acordo com o IPCC 2019. O estoque de carbono e o dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>eq) no solo sob sistema MC foi de 49 Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e 179 Mg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, respectivamente, já no sistema CV obteve-se 30 Mg C ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> e 110 Mg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. O incremento em carbono foi superior a 38% no sistema MC. O sistema CV emitiu 54,77 Mg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, 37,70% a mais em relação ao MC. O balanço de carbono, no sistema MC foi -144,38 Mg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> enquanto o CV foi de - 55,23 Mg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. Menores valores de acidificação terrestre (70,20 Mg SO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>) e Uso da Terra (4,99 m<sup>2</sup> kg<sup>-1</sup> de café verde) foram obtidos no MC. A combinação de práticas de conservação de solo, uso controlado de defensivos, fertilizantes e redução de combustível fóssil, proporcionaram a mitigação dos gases de efeito estufa ao mesmo tempo que elevou a produtividade média (39 sacas ha<sup>-1</sup>), contribuindo com a preservação do meio ambiente e, conseqüente, ganho econômico ao produtor rural.

**PALAVRAS-CHAVE:** Agricultura Conservacionista. Balanço de Carbono. Mudanças Climáticas. Bioeconomia.

**ABSTRACT**

*Our goal was to estimate the environmental impacts between conventional coffee production systems (CV) and multiples-conservation practices (MC), using Life Cycle Assessment (LCA) and soil organic carbon stocks. The inventory period was from 2008 to 2018. Primary data from the production stages, scientific articles, on-site organic carbon and the Ecoinvent database version 3.7 were used, analyzed in SimaPro version 9.2. Stocks were calculated according to IPCC2019. The carbon stock and carbon dioxide equivalent (CO<sub>2</sub>eq) in the soil under the MC system was 49 Mg C ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> and 179 Mg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>year<sup>-1</sup>, respectively, while the CV system was 30 Mg C ha<sup>-1</sup>year<sup>-1</sup> and 110 Mg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>year<sup>-1</sup>. The increase in carbon was over 38% in the MC system. The CV system emitted 54.77 Mg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>year<sup>-1</sup>, 37.70% more than the MC system. The carbon balance in the MC system resulted in -144.38 Mg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>year<sup>-1</sup> while in the CV system it was -55.23 Mg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>year<sup>-1</sup>. Lower values for soil acidification (70.20 Mg SO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>year<sup>-1</sup>) and Land Use (4.99 m<sup>2</sup> kg<sup>-1</sup> of green coffee) were obtained in the MC. The mix of soil conservation practices, controlled use of pesticides and fertilizers and reduction of fossil fuels helped mitigate greenhouse gases while increasing average*

<sup>1</sup> Eng. Agrônoma, Dsc. em Ciência do Solo. Prof<sup>a</sup> Adjunto na Faculdade de Ciências Agrárias UFGD.

<sup>2</sup> Economista, Msc em Agronegócio pela UFGD, servidora pública estadual -Agraer.

<sup>3</sup> Economista. Dsc em Agronegócio UFGD. Analista de Projetos na GenomaA Biotech.

<sup>4</sup> Eng. Agrônoma. Msc em Cafeicultura. Head de Pesquisa na Empresa Agropecuária Piumhi.

<sup>5</sup> Zootecnista. Dsc em Agronegócio. Prof. Associado da UFGD. Prof. do Programa de Pós Graduação em Agronegócio UFGD.



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA E BALANÇO DE CARBONO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO CAFFEEIRA DO CERRADO MINEIRO, BRASIL  
Carla Eloize Carducci, Cíntia Ferreira Anis, Daiane Pereira de Souza, Joyce Cristina Costa, Clandio Favarini Ruviano

*productivity (39 bags ha<sup>-1</sup>), contributing to environmental preservation and, consequently, economic gains for farmers.*

**KEYWORDS:** *Conservation Agriculture. Carbon Balance. Climate Change. Bioeconomy.*

### RESUMEN

*El objetivo era estimar los impactos ambientales de los sistemas de producción de café convencionales (CV) y prácticas múltiples (MC) mediante el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) y las reservas de carbono orgánico del suelo. El período de inventario fue de 2008 a 2018. Se utilizaron datos primarios de las etapas de producción, artículos científicos, carbono orgánico in situ y la base de datos Ecoinvent versión 3.7, analizados en SimaPro versión 9.2. Las reservas se calcularon de acuerdo con el IPCC2019. Las existencias de carbono y dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>eq) en el suelo bajo el sistema MC fueron de 49 Mg C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y 179 Mg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>, respectivamente, mientras que el CV obtuvo 30 Mg C ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> y 110 Mg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>. El sistema CV emitió 54,77 Mg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>, un 37,70% más que el MC. El balance de carbono en el sistema MC resultó de -144,38 Mg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> mientras que en el CV fue de -55,23 Mg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>. Los valores más bajos de acidificación del suelo (70,20 Mg SO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>) y de uso del suelo (4,99 m<sup>2</sup> kg<sup>-1</sup> de café verde) se obtuvieron en el MC. La combinación de prácticas de conservación del suelo, el uso controlado de plaguicidas, fertilizantes y la reducción de combustibles fósiles ayudó a mitigar los gases de efecto invernadero al tiempo que aumentó la productividad media (39 sacos ha<sup>-1</sup>), contribuyendo a la preservación del medio ambiente, en consecuencia, a los ganos económicos de los productores rurales.*

**PALABRAS CLAVE:** *Agricultura de Conservación. Balance de Carbono. Cambio Climático. Bioeconomía.*

### INTRODUÇÃO

A cafeicultura desempenhou o saldo positivo da balança comercial brasileira. O país é o maior produtor e exportador mundial de café (grão/matéria prima). Em 2023 foi produzido cerca de 38,16 milhões de sacas de 60kg de café Arábica; 16,2 milhões de sacas de café Conilon, sendo exportado no acumulado até outubro de 2023; 30,6 milhões de sacas ao preço médio de US\$ 160,00 a saca, gerando uma receita cambial para esse período de US\$ 6,4 bilhões. Minas Gerais é o maior produtor nacional e participa desse total com cerca de 28,29 milhões de sacas beneficiadas (CONAB, 2023).

Contudo, esse volume de café produzido, quando manejado de forma convencional, ou seja, ruas limpas com solo exposto e revolvimento de solo, contribuem para a emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera (GEE) (Lopes *et al.*, 2014). Além disso, a agricultura e as mudanças no uso da terra respondem por um quarto do total das emissões globais desses gases (Laborde *et al.*, 2021). Em contrapartida, há evidências científicas de que a agricultura com práticas de conservação pode elevar significativamente os estoques de carbono no solo, quando comparadas à convencional (Lugato *et al.*, 2017; Machado, 2005; Silva *et al.*, 2013).

Como exemplo, tem-se o sistema de produção cafeeira que é utilizado na região do Cerrado Mineiro a mais de 20 anos e compreende mais de 42 mil hectares. Esse sistema abrange um conjunto de práticas conservacionistas 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



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA E BALANÇO DE CARBONO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO CAFEEIRA DO CERRADO MINEIRO, BRASIL  
Carla Eloize Carducci, Cíntia Ferreira Anís, Daiane Pereira de Souza, Joyce Cristina Costa, Cláudio Favarini Ruviano

constante de biomassa verde e residual na superfície do solo, comercialmente intitulado sistema AP Romero. Os estoques de carbono nesse sistema são superiores a 56 Mg C ha<sup>-1</sup> em apenas 0,15 m de profundidade, valor superior quando comparado a área de produção convencional (46,5 Mg C ha<sup>-1</sup>) (Silva *et al.*, 2013; Serafim *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2015; Carducci *et al.*, 2015).

Os estudos desenvolvidos ao longo de mais de 10 anos de pesquisa nas áreas sob esse sistema de produção, enfocaram principalmente os efeitos das práticas conservacionistas na 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 dos estudos sobre os solos com 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); Nojonen *et al.* (2012); Folegatti-Matsuura; Picoli (2018); Trinh *et al.* (2020) e Nab; Maslin (2020), é capaz de identificar suas potencialidades e limitações ambientais.

Assim, esse sistema que emprega múltiplas práticas conservacionistas para a produção cafeeira, pode ser capaz de fixar e manter o carbono no solo em maior quantidade ao longo do tempo em relação 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 múltiplas práticas conservacionistas, por meio da Avaliação do ciclo de vida e sua relação com o estoque de carbono no solo.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Descrição da área de estudo

Os dados primários do plano de safra correspondem aos anos de 2008 a 2018, foram obtidos via Empresa Agropecuária Piumhi, pioneira do sistema que contém múltiplas práticas conservacionista para a produção cafeeira (MC), comercialmente denominado AP Romero. A lavoura cafeeira avaliada foi implantada em 2008 em uma área de 38 hectares situada na região do Alto São Francisco, em Minas Gerais (MG), na cidade de São Roque de Minas, pertencente ao Bioma Cerrado (Figura 1).

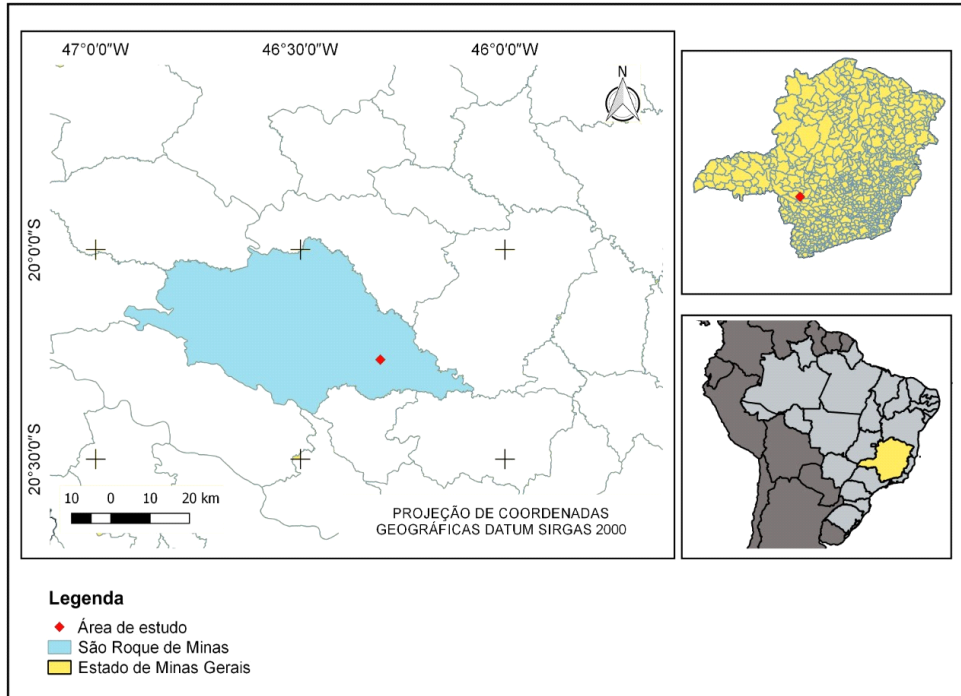
O solo sob o sistema MC, foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico gibbsítico muito argiloso (716, 210, 74 g kg<sup>-1</sup> argila, silte e areia, respectivamente), originário de rochas pelíticas (Carducci *et al.*, 2015; Serafim *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2019), seu correspondente na US Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2014), com adaptações é o Acrustox e Ferralsols na base de dados da Soil World Reference Base (IUSS Working Group WRB, 2014).



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA E BALANÇO DE CARBONO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO CAFEIEIRA DO CERRADO MINEIRO, BRASIL  
Carla Eloize Carducci, Cíntia Ferreira Anis, Daiane Pereira de Souza, Joyce Cristina Costa, Clandio Favarini Ruviano

**Figura 1.** Localização geográfica dos 38 ha de lavoura cafeeira sob sistema com múltiplas práticas conservacionista para a produção cafeeira (MC) em São Roque de Minas, MG.  
Fonte: Adaptado de Anis (2021)



### 2.2. Dados meteorológicos da área de estudo

Para a obtenção dos dados meteorológicos foram utilizadas as informações contidas nas bases de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), correspondentes ao intervalo de avaliação deste estudo 2008-2018. 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 2018 foram obtidos via instalação de pluviômetros na área de estudo, já os dados de temperatura no intervalo de tempo de 2017 a 2018 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 de múltiplas práticas conservacionistas, foram: combustível fóssil, 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, matéria orgânica do solo



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA E BALANÇO DE CARBONO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO CAFEIEIRA DO CERRADO MINEIRO, BRASIL  
Carla Eloize Carducci, Cíntia Ferreira Anis, Daiane Pereira de Souza, Joyce Cristina Costa, Cláudio Favarini Ruviano

e produtividade. Já os dados de saída (outputs) foram: café verde em kg e as emissões de CO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub> calculadas em kg CO<sub>2</sub>eq.

As quantidades de insumos, tratos culturais, produtividade e todas as variáveis que correspondem ao sistema convencional foram baseados em dados secundários, principalmente do Agriannual/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 Agriannual. Os *outputs* foram a quantidade produzida de café verde em kg e as emissões de CO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub> calculadas em kg CO<sub>2</sub>eq.

### 2.4. Balanço e estoque de carbono no solo

A investigação sobre o estoque de carbono no solo foi realizada com dados pontuais da lavoura cafeeira, via análise de solo, referente ao ano de 2018 e com base em nove artigos científicos publicados referentes ao sistema de múltiplas práticas conservacionistas (MC) apresentadas na Tabela 1. Foram compilados os dados físicos e de matéria orgânica do solo (g kg<sup>-1</sup>) determinado via método oxidação de Walkley & Black e de combustão seca (Ramos *et al.*, 2013; Silva *et al.*, 2013) todos os estudos foram realizados na linha de plantio. Utilizou-se também para o ano de 2018 a análise química de solo disponibilizada pela empresa, realizada no Laboratório Ribosolo, realizada em três repetições na profundidade de 0-0,30m. (Tabela 1).

**Tabela 1.** Artigos científicos utilizados para o levantamento de dados médios referentes ao histórico de carbono do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico sob o sistema múltiplas práticas conservacionistas para a produção cafeeira

Artigos Científicos	COT	Ds	EC
	g kg <sup>-1</sup>	Mg m <sup>-3</sup>	Mg ha <sup>-1</sup>
Silva et al. (2012)	43,50	0,86	37,20
Silva et al. (2013)	61,00	0,91	53,24
Ramos et al. (2013); Silva et al. (2014)	28,13	0,91	43,02
Carducci et al. (2014; 2015)	31,96	0,91	29,08
Silva et al. (2015; 2019)	31,96	0,92	21,92
Silva et al. (2017)	38,05	0,95	36,13

De posse desses dados e das recomendações de cálculo do IPCC (2019), calculou-se para a camada de 0,30 m o estoque de carbono orgânico no solo (Mg ha<sup>-1</sup>) a partir da equação:

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

EC: Estoque de carbono orgânico total do solo (Mg ha<sup>-1</sup>); Ds: densidade global do solo (Mg m<sup>-3</sup>); E: espessura da camada de estudo (m); COT: carbono orgânico total (g kg<sup>-1</sup>).

Calculou-se com base no estoque de carbono no solo o conteúdo de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>eq) do solo, ou seja, o sequestro do carbono atmosférico de acordo com a equação preconizada pelo IPCC (2019), ou seja, pela razão entre a massa molecular de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), igual a 44 e a massa atômica de carbono (C), igual a 12.



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA E BALANÇO DE CARBONO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO CAFEIEIRA DO CERRADO MINEIRO, BRASIL  
Carla Eloize Carducci, Cíntia Ferreira Anis, Daiane Pereira de Souza, Joyce Cristina Costa, Cláudio Favari Ruviano

$$CO_2 eq = 3,67 \times EC$$

CO<sub>2</sub>eq: sequestro de dióxido de carbono equivalente (Mg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>); EC: estoque de carbono orgânico total (Mg C ha<sup>-1</sup>).

Como proposta para primeira avaliação do balanço de carbono do sistema utilizou-se do resultado de potencial de aquecimento global obtida pelo ACV descontado do estoque de CO<sub>2</sub>eq determinado no solo, via análise laboratorial.

### 2.5. Descrição dos sistemas: múltiplas práticas conservacionistas (MC) e convencional (CV)

A lavoura cafeeira é formada pela cultivar Catucaí Amarelo Multilínea (*Coffea arabica* L.) cultivada em plantio semi adensado (0,65 x 2,50 m); no preparo do solo foram empregadas em área total uma aração e duas gradagens seguidas da aplicação de calcário dolomítico (4 Mg ha<sup>-1</sup>) e gesso agrícola (1,92 Mg ha<sup>-1</sup>) incorporados até 0,20 m de profundidade.

Após a correção do solo em área total foram abertos os sulcos de plantio a 0,60 m de profundidade e 0,50 m de largura, com uso de equipamento que permite, além da abertura em maior profundidade, o revolvimento do solo e a aplicação de corretivos e fertilizantes de forma homogênea até a profundidade de 0,40 m. No sulco foram aplicados 8 Mg ha<sup>-1</sup> (2 kg m<sup>-1</sup>) de calcário dolomítico e a adubação de base (formulado 08-44-00, enriquecido com 1,5% Zn e 0,5% B); as mudas do cafeeiro foram plantadas entre a segunda quinzena de outubro e a primeira quinzena de novembro/2008.

Cerca de três meses após o plantio, o gesso foi distribuído na superfície do solo e, ao longo da linha de cultivo, sendo este material recoberto com material de solo misturado com material vegetal proveniente da entre linha (“chegada de terra” junto ao tronco do cafeeiro).

Em conjunto com a instalação da lavoura foi implantada, como cultura de cobertura, a *Brachiaria decumbens* (Syn. *Urochloa*) nas entrelinhas sendo esta cortada periodicamente por meio de roçadora que faz com que o resíduo vegetal produzido seja direcionado para a linha de cultivo, favorecendo o aporte de carbono ao solo (Carducci *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2016; Serafim *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2013).

Os tratos culturais da lavoura foram realizados com equipamento de tração animal; no entanto, a colheita é mecanizada. O monitoramento do estado nutricional das plantas e o manejo das adubações foram feitos com base em análise foliar realizada no período de dezembro a abril (Serafim *et al.*, 2011).

Já o sistema convencional, é baseado no intenso preparo do solo (aração e gradagem), espaçamento médio de 4 x 6 m, entrelinhas limpas (livre de plantas espontâneas – planta daninha) e utilização de insumos agrícolas (fertilizantes minerais), que na fase de implantação resultou em 375 kg ha<sup>-1</sup> e na fase produtiva utilizou-se 3.975,6 kg ha<sup>-1</sup> (20-10-20 NPK) e defensivos agrícolas (herbicidas, fungicidas e inseticidas) foram utilizados na fase de implantação 59,5 kg ha<sup>-1</sup> e na fase produtiva 302 kg ha<sup>-1</sup>, além do uso de maquinários agrícolas movidos a combustível fóssil (Harkes *et al.*, 2019; Lopes *et al.*, 2014).



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA E BALANÇO DE CARBONO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO CAFEIEIRA DO CERRADO MINEIRO, BRASIL  
Carla Eloize Carducci, Cíntia Ferreira Anis, Daiane Pereira de Souza, Joyce Cristina Costa, Cláudio Favarini Ruviaro

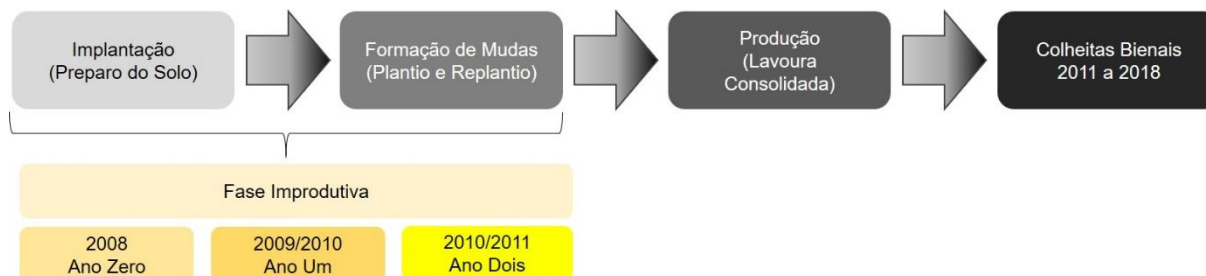
### 2.6. Avaliação do ciclo de vida

Aplicou-se o método de Avaliação do Ciclo de Vida como uma ferramenta de gerenciamento de entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*) (ISO 14040, 2006; Ruviaro *et al.*, 2012). Esse método é amplamente utilizado por instituições governamentais, empresas de pesquisas científicas e privadas para estudos que embasam a tomada de decisão e que norteiam as políticas públicas, e pelo setor privado para mensurar e reduzir os impactos ambientais de seus produtos para rotulagem e certificações ambientais.

#### 2.6.1 Objetivo e escopo

O objetivo da ACV neste trabalho é comparar os impactos ambientais de dois sistemas de produção de café, ou seja, um sistema de produção cafeeira convencional (CV) e outro com múltiplas práticas conservacionistas do solo (MC) no período de 2008 até o ano safra 2018/2019. Foi usada a abordagem atribucional, considerando as emissões do “berço à porteira” da fazenda, excluindo-se os dados referentes ao processamento, industrialização e comercialização do café bebida (Figura 2). Dentro do escopo, a unidade funcional foi de 1 kg de grão de café verde produzido de acordo com protocolo: ISO 14040/ABNT – ISO (2009).

**Figura 2.** Fronteiras do sistema de acordo com o ISO 14040/ABNT - ISO (2009)



Para caracterização dos impactos ambientais foram selecionadas as seguintes categorias: mudanças climáticas, 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 (Inagaki *et al.*, 2017).

#### 2.6.2 INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA

A segunda fase englobou a elaboração e análise do Inventário do Ciclo de Vida (ICV), momento em que são coletados os dados e realizado os cálculos necessários a fim de se quantificar as entradas dos sistemas. Para melhor compreensão dos resultados, o inventário foi dividido em três fases principais (Figura 2): mudas, implantação (preparo do solo), produção e



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA E BALANÇO DE CARBONO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO CAFEEIRA DO CERRADO MINEIRO, BRASIL  
Carla Eloize Carducci, Cíntia Ferreira Anis, Daiane Pereira de Souza, Joyce Cristina Costa, Clandio Favarini Ruviano

colheita, considerando o ano de 2008 como inicial e os períodos subsequentes de 2009/2010 e 2010/2011 como fase de desenvolvimento inicial do cafezal em que a planta ainda não produz e, posteriormente, o início da produção até a safra 2018/2019.

Na fase de produção de mudas, a semeadura foi realizada em saquinhos de polietileno (10x20 cm) com 90 furos, pois facilita 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 onde utilizou-se a variedade Catuaí Amarelo, que apresenta porte baixo e rápida adaptação as condições edafoclimáticas da região aliada a produtividade. Após dois anos do plantio das mudas de café (safra 2010/2011) com a lavoura já estabelecida foi produzida as primeiras sacas de café.

Nesse sistema a produção, na fase consolidada (6 anos, idade fisiológica adulta da planta de café), atingiu-se em média 39 sc ha<sup>-1</sup> (sacas/hectare) enquanto o convencional variou de 24,6 sc ha<sup>-1</sup>. (CONAB, 2019; Silva *et al.*, 2019) a 29 sc ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2023). Nessa fase de implantação é semeada uma gramínea - 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.

### 2.6.3 Impacto do ciclo de vida

A terceira fase foi a Avaliação de Impacto Ambiental do Ciclo de Vida (AICV) em relação às mudanças climáticas, acidificação terrestre e uso da terra. 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. Os inventários e cálculos dos impactos ambientais dos sistemas de manejo foram realizados com o software SimaPro versão 9.2, aplicando o método padrão ReCiPe.

Na última fase executou-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; Ruviano *et al.*, 2012).

## 3. RESULTADOS

Os menores impactos ao ambiente de produção cafeeira determinados pela avaliação dos critérios da ACV considerando-se as categorias de impacto: mudanças climáticas, acidificação e uso da terra, além dos maiores estoques de carbono do solo foram obtidas no sistema com múltiplas práticas conservacionistas (MC) (Tabela 2).





## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA E BALANÇO DE CARBONO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO CAFEEIRA DO CERRADO MINEIRO, BRASIL  
Carla Eloize Carducci, Cíntia Ferreira Anis, Daiane Pereira de Souza, Joyce Cristina Costa, Clandio Favarini Ruviano

**Tabela 2.** Valores médios ao longo de 10 anos de avaliação (2008-2018) do estoque de carbono, emissões e avaliação do impacto ambiental para o sistema de múltiplas práticas conservacionistas (MC) e convencional (CV) na produção cafeeira

Atributos	MC	CV
Estoque C no solo, Mg C ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	49	30
Estoque CO <sub>2</sub> eq no solo, Mg CO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	179	110
Produção de café verde*, kg ha <sup>-1</sup>	2340	1476
Balanço de Carbono, Mg CO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	-144,88	-55,23
Mudança Climática, Mg CO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	34,12	54,77
Acidificação Terrestre, Mg SO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	70,20	73,80
Uso da Terra (m <sup>2</sup> )	4,99	6,25

\*calculado para cada saca produzida por hectare, no MC 39 sacas ha<sup>-1</sup> e CV 24,6 sacas ha<sup>-1</sup>

Ao subdividir o processo de produção em três etapas essenciais, ou seja, da muda ao preparo do solo (preparo), plantio e produção (manutenção da lavoura até a colheita) verificou-se que, na categoria de mudanças climáticas, a fase do plantio a produção apresentou as maiores emissões (Tabela 3).

**Tabela 3.** Avaliação dos impactos ambientais para os sistemas de produção cafeeira em estudo para o sistema de múltiplas práticas conservacionistas (MC) e convencional (CV) em três etapas de produção: da muda ao preparo do solo (preparo), plantio e produção (manutenção da lavoura até a colheita)

MC					
Categoria de Impacto Ambiental	Um	Preparo	Plantio	Produção	Total
Mudança Climática	MgCO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup>	5,16	14,44	14,52	34,12
Acidificação Terrestre	MgSO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup>	4,21	5,38	60,61	70,2
Uso da Terra	m <sup>2</sup>	0,0004	0,0155	4,97	4,97
CV					
Categoria de Impacto Ambiental	Um	Preparo	Plantio	Produção	Total
Mudança Climática	MgCO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup>	4,10	33,26	17,41	54,77
Acidificação Terrestre	MgSO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup>	4,28	5,46	64,06	73,80
Uso da Terra	m <sup>2</sup>	0,0004	0,0273	6,22	6,25

Fonte: Adaptado de Anis (2021)

### 3.1. Mudanças climáticas

Em relação ao valor total, o combustível fóssil foi o recurso que mais contribuiu para a emissão de GEE, seguido pelos fertilizantes minerais, especialmente os nitrogenados (NO) e, os defensivos agrícolas em terceiro lugar (Tabela 4).



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA E BALANÇO DE CARBONO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO CAFEIEIRA DO CERRADO MINEIRO, BRASIL  
Carla Eloize Carducci, Cíntia Ferreira Anis, Daiane Pereira de Souza, Joyce Cristina Costa, Clandio Favarini Ruviaro

**Tabela 4.** Resultados comparativos de emissões dos sistemas analisados na categoria de mudança climática para o sistema de múltiplas práticas conservacionistas (MC) e convencional (CV) na produção cafeeira

Fonte de Emissão	MC (kg CO <sub>2</sub> eq)	CV (kg CO <sub>2</sub> eq)
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	0,0058	0,0243
Dióxido de Carbono (fóssil) (CO <sub>2</sub> )	3,13	5,04
Monóxido de Nitrogênio (NO)	0,447	1,03
Diclorodifluorometano (CFC 12)	0,0105	0,0168
Metano (fóssil) (CH <sub>4</sub> )	0,295	0,474
Substâncias remanescentes (gases)	0,024	0,0489
Ureia composta (CH <sub>4</sub> N <sub>2</sub> O)	2,63	4,2
Ácido nítrico (HNO <sub>3</sub> )	0,214	0,393
Ácido nítrico solúvel (HNO <sub>3</sub> H <sub>2</sub> O)	-	0,236
Energia elétrica	0,0441	0,113
Amônia 100% (NH <sub>3</sub> )	-	0,0827
Amônia líquida (NH <sub>3</sub> H <sub>2</sub> O)	0,0859	0,0682
Substâncias remanescentes (químicas)	0,83	1,34

Fonte: Adaptado de Anis (2021)

Ao longo de todo o processo de produção cafeeira, do “berço a porteira”, foram identificadas cinco substâncias químicas poluidoras do ar atmosférico (CO<sub>2</sub>; CO<sub>2</sub> fóssil; NO; CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>) (Tabela 4), a exemplo do dióxido de carbono fóssil (Diesel) e da ureia, que mais contribuíram com as emissões de GEE em todo o processo de produção, com valores mais expressivos de emissão para o sistema CV.

### 3.2. Acidificação terrestre

O sistema MC apresentou a menor acidificação do solo em todo o processo de produção (70,20 Mg SO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup>) quando comparado ao CV (Tabela 2, 3 e 5).

A fase produtiva, manutenção da lavoura até a colheita, foi a que mais acidificou o solo (Tabela 3). As principais fontes de emissões para esta categoria foram: amônia, óxido de nitrogênio e dióxido de enxofre, presentes nos fertilizantes químicos (Tabela 5).

**Tabela 5.** Resultados comparativos dos processos que impactam o meio ambiente na categoria acidificação terrestre para o sistema de múltiplas práticas conservacionistas (MC) e convencional (CV) na produção cafeeira

Fonte de Emissão	MC (kg SO <sub>2</sub> eq)	CV (kg SO <sub>2</sub> eq)
Amônia (NH <sub>3</sub> )	0,00233	0,00557
Óxido de Nitrogênio (NO)	0,00504	0,00745
Dióxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> )	0,0341	0,0209
Substâncias remanescentes (gases)	2,52E-05	0,0341
Ureia composta (CH <sub>4</sub> N <sub>2</sub> O)	0,0197	0,0315
Nitrato de amônia (NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> )	-	0,00246
Ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	0,000553	0,00145
Ácido nítrico (HNO <sub>3</sub> )	0,000751	0,00138



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA E BALANÇO DE CARBONO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO CAFEIEIRA DO CERRADO MINEIRO, BRASIL  
Carla Eloize Carducci, Cíntia Ferreira Anis, Daiane Pereira de Souza, Joyce Cristina Costa, Clandio Favarini Ruviano

Eletricidade	0,000464	0,00119
Transporte	0,000239	0,000494
Substâncias remanescentes (químicas)	0,0283	0,0472

Fonte: Adaptado de Anis (2021)

Além disso, apresenta-se na tabela acima, de forma comparativa, as substâncias e outros elementos responsáveis pela redução do pH do solo e emissões de GEE em todo o processo de produção nestes dois sistemas de manejo avaliados, com maior contribuição destes efeitos provenientes do uso de ureia ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ ).

### 3.3. Uso da terra

Na categoria de uso da terra, o sistema MC apresentou resultados mais satisfatórios com a ocupação de 4,99 m<sup>2</sup> por planta, e o CV ocupou 6,25 m<sup>2</sup> por planta, ou seja, para produzir 1 kg de café verde em sistema MC usou-se um espaço menor do solo e paisagem, permitido também pelo espaçamento semi adensado (2,50 x 0,65 m), ou seja, uma redução na ocupação do solo em 20,18%. Na Tabela 6 constam os resultados por área transformada em ocupação agrícola para implantação da lavoura cafeeira.

**Tabela 6.** Resultados comparativos dos processos que impactam o meio ambiente na categoria uso da terra para o sistema de múltiplas práticas conservacionistas (MC) e convencional (CV) na produção cafeeira

Terra Ocupada	MC (m <sup>2</sup> )	CV (m <sup>2</sup> )
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	0,008

Fonte: Adaptado de Anis (2021).

### 3.4. Estoque e balanço de carbono do solo

Ao longo do período avaliado houve maiores oscilações no estoque de  $\text{CO}_2\text{eq}$  em relação ao carbono orgânico total do solo (Figura 3). Os maiores picos de estoque de carbono foram registrados após 3 anos da implantação do sistema, chegando a 60 Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de acordo com Silva *et al.* (2013) e confirmado por outros autores como: Silva *et al.* (2012); Ramos *et al.* (2013); Silva *et al.* (2014); Carducci *et al.* (2014); Carducci *et al.* (2015); Silva *et al.* (2015); Silva *et al.* (2019), Silva *et al.* (2017).

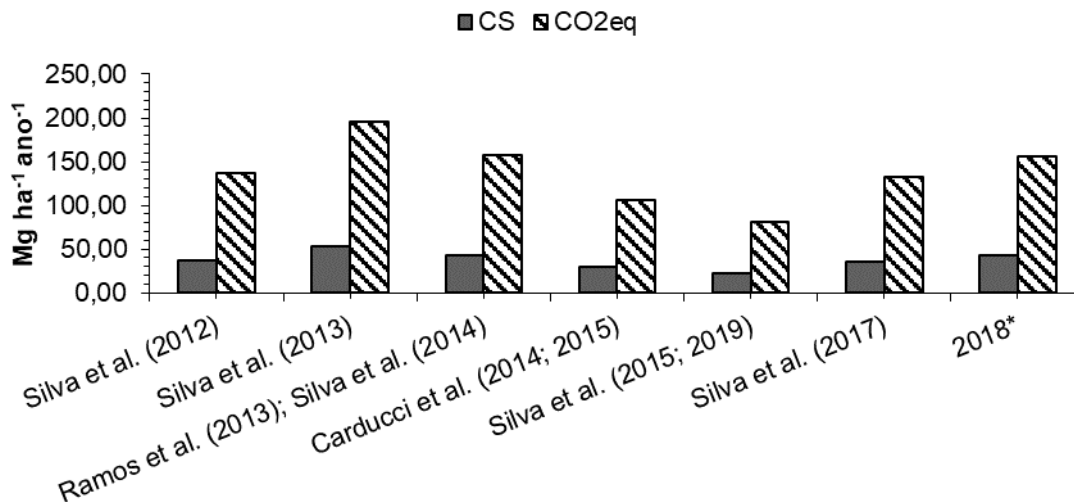


## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

ISSN 2675-6218

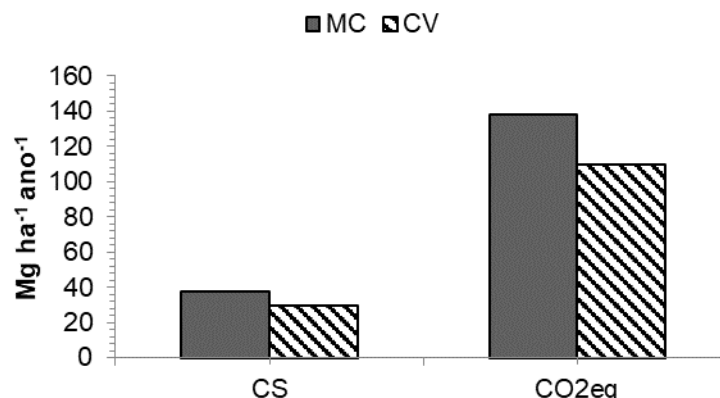
ANÁLISE DO CICLO DE VIDA E BALANÇO DE CARBONO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO CAFEIEIRA DO CERRADO MINEIRO, BRASIL  
Carla Eloize Carducci, Cíntia Ferreira Anis, Daiane Pereira de Souza, Joyce Cristina Costa, Clandio Favarini Ruviano

**Figura 3.** Histórico de estoque de carbono orgânico e dióxido de carbono equivalente ( $\text{Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ ) do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (LVd) sob o sistema de múltiplas práticas conservacionistas (MC). EC = estoque de carbono;  $\text{CO}_2\text{eq}$  = Dióxido de Carbono equivalente.  
\*Análise laboratorial RiberSolo (<https://ribersolo.com.br/>)



Ao comparar o sistema MC com o CV em relação ao seu estoque de carbono orgânico total e, conseqüentemente o estoque de  $\text{CO}_2$  no solo, ficou evidente a superioridade do sistema MC em remover da atmosfera esse GEE. Assim, ao realizar o balanço de carbono dos dois sistemas obteve-se como resultados para o MC o valor de  $-144,88 \text{ Mg CO}_2\text{eq.ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$  enquanto o CV foi de  $-55,23 \text{ Mg CO}_2\text{eq ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ , ou seja, quanto mais negativo o balanço, maior é a estabilidade do carbono fixado no sistema de produção. Vale ressaltar que nessa proposta de cálculo subtraiu-se o resultado das emissões obtidas no ACV do resultado do estoque de carbono no solo (Figura 4).

**Figura 4.** Média de 10 anos (2008-2018) do estoque de carbono orgânico e dióxido de carbono equivalente para o sistema múltiplas práticas conservacionistas (MC) e convencional (CV) na produção cafeeira



Salienta-se que as variações climáticas, decorrentes das precipitações pluviométricas e temperaturas oriundas de fenômenos meteorológicos, interferem nas condições de sequestro e estoque de carbono no solo. Dessa forma, tanto as precipitações como a temperatura variaram ao longo do período avaliado (2008-2018) típico do clima da região, caracterizado como Aw de acordo

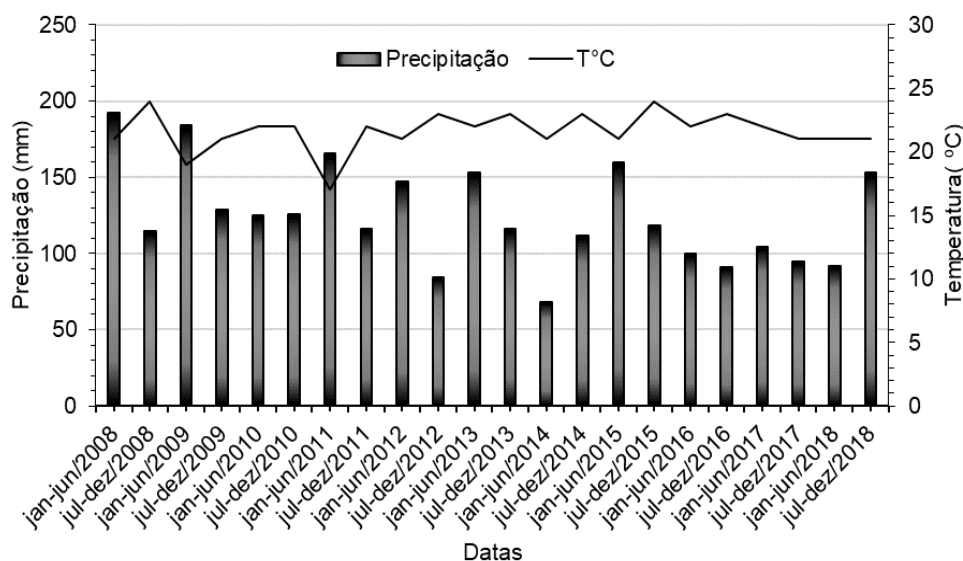


## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA E BALANÇO DE CARBONO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO CAFEIEIRA DO CERRADO MINEIRO, BRASIL  
Carla Eloize Carducci, Cíntia Ferreira Anis, Daiane Pereira de Souza, Joyce Cristina Costa, Clandio Favarini Ruviano

com Köppen (Alvares *et al.*, 2014). As menores precipitações registradas ao longo desses 10 anos de monitoramento ocorreram nos anos de 2012 (jul-dez) e 2014 (jan-jul). Já a temperatura variou no intervalo de 18 a 25°C ao longo do tempo avaliado (Figura 5).

**Figura 5.** Média semestral das precipitações e temperatura de São Roque de Minas (MG) monitorados ao longo de 10 anos (2008-2018) onde foi conduzido o sistema de múltiplas práticas conservacionistas do solo para produção cafeeira. Fonte: Inmet (A-656) e Inpe



#### 4. DISCUSSÃO

De acordo com o trabalho de Bessou *et al.* (2013) quando analisaram mais de 100 artigos científicos sobre a aplicação do método ACV em culturas perenes, a exemplo do café, os autores mostraram que culturas perenes diferem das anuais, em vários aspectos, o que pode influenciar drasticamente nas estimativas do impacto ambiental, dada a dificuldade de coleta de dados de todo o ciclo de produção. Assim, é importante coletar dados desde a implantação até o final do ciclo e, quando não for possível a coleta de dados primários, cabe o uso de dados secundários, como realizado nesse estudo, por meio de bancos de dados como *Ecoinvent*® e a *Agriannual*.

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



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA E BALANÇO DE CARBONO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO CAFFEEIRA DO CERRADO MINEIRO, BRASIL  
Carla Eloize Carducci, Cíntia Ferreira Anis, Daiane Pereira de Souza, Joyce Cristina Costa, Cláudio Favaroni Ruviano

Hicks e Heather (2019) ao utilizarem a ACV especificamente para o café pronto para beber, ou seja, iniciando os dados de entrada do inventário a partir da colheita do café, reportaram que quanto mais processado o café, maior é o potencial de emissão GEE.

Por outro lado, Coltro *et al.* (2006), desenvolveram um trabalho, por meio da ACV para avaliar um sistema de produção ambientalmente correto das lavouras cafeeiras 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 naquela 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, 11.400 kg 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.

Os resultados comparativos, na categoria de mudanças climáticas, mostraram que o sistema MC causou o menor impacto ambiental em relação ao CV (Tabela 1, 2 e 3), devido ao conjunto de práticas conservacionistas eficientes e sustentáveis aplicadas ao solo, principalmente considerando a braquiária na entrelinha, aliadas ao uso de fertilizantes e defensivos agrícolas de forma controlada à necessidade da planta e com ajustes nos princípios ativos, utilizando aqueles menos voláteis, a exemplo da troca de ureia por nitrato de cálcio. O uso da tração animal, que reduz a queima de combustíveis fósseis e as adaptações dos equipamentos para executar duas operações em uma única, como adubação e controle de planta espontânea, representa outro fator importante na redução dos GEE na produção cafeeira (Serafim *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2013).

Sendo assim, vale ressaltar que a fase produtiva, englobou o maior período de análise do inventário, apresentou o maior impacto ambiental em todas as categorias (Tabela 2). 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, em alguns momentos o uso de combustíveis devido as operações mecanizadas para aplicação dos insumos (Serafim *et al.*, 2011).

No sistema CV cerca de 90% das emissões resultaram das doses dos fertilizantes empregados, já no MC o consumo de fertilizantes é cerca de 10% menor, sendo consistente com os estudos de Noponen *et al.* (2012) e Trinh *et al.* (2020). O uso de fertilizantes químicos contribuiu para a elevada emissão de GEE na fase produtiva, muito embora o sistema MC faça uso de quantidades reduzidas em relação ao CV (Tabela 3), pois é calculada criteriosamente para fornecer a nutrição necessária ao desenvolvimento e produtividade do cafeeiro, com base nas análises de solo anuais e na análise foliar para monitoramento da necessidade de nutrientes, pelo menos quatro vezes ao ano, sem incorrer em excessos e prejuízos ao meio ambiente, pois uma aplicação excessiva de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) faria com que a planta não fosse capaz de absorvê-lo totalmente, assim, parte ficaria



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA E BALANÇO DE CARBONO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO CAFFEEIRA DO CERRADO MINEIRO, BRASIL  
Carla Eloize Carducci, Cíntia Ferreira Anis, Daiane Pereira de Souza, Joyce Cristina Costa, Clandio Favarini Ruviano

adsorvido aos colóides e, conseqüentemente elevaria a acidificação (Serafim *et al.*, 2011; Carducci *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2013; Ramos *et al.*, 2013).

Os resultados do carbono orgânico do solo corroboram aos estudos de Silva *et al.* (2013), que verificaram os efeitos significativos na melhoria da qualidade física do solo e incrementos em carbono orgânico total no sistema como um todo, o que equivale a 38% de COT a mais no MC. Esses incrementos são resultantes do conjunto de práticas conservacionistas adotadas nesse sistema de produção, visto que de acordo com Carducci *et al.*, (2022) o uso do gesso favoreceu a maior diversificação de poros, ou seja, espaços no solo potenciais para acúmulo de carbono além de maior fluxo de ar e água, favoreceu também, o crescimento das raízes do café e da forrageira contribuindo com os estoques de carbono orgânico total.

Salienta-se, ainda, que a precipitação e a temperatura, são eventos capazes de controlar, em escala regional, a decomposição da matéria orgânica do solo e, conseqüentemente, a atividade dos microrganismos, porque a taxa de decomposição é baixa em climas mais secos. Assim, a distribuição de chuvas e a umidade do solo seriam os principais fatores na regulação da biomassa microbiana, atuando diretamente no sequestro e estoque de carbono do solo (Assad *et al.*, 2013; Briedis *et al.*, 2016). Esses fatores sofrem interferências dos fenômenos meteorológicos como: o El niño e a La niña (Dias *et al.*, 2020; Rosenzweig *et al.*, 2013).

O sequestro e estoque do carbono no solo ocorre em conformidade com o ciclo do carbono. As plantas absorvem luz solar e CO<sub>2</sub> do ar, por meio da fotossíntese; parte do CO<sub>2</sub> é usado para crescimento de galhos e folhas, e outra é transportado pelas raízes que usarão no seu metabolismo e liberarão substâncias orgânicas ao solo. Esse CO<sub>2</sub> 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, como a mucilagem. Se o solo for manejado corretamente, continuará armazenando carbono (Hilton; West, 2020). Nesse sentido, o balanço de carbono, deste estudo, espelhou a capacidade desse sistema em sequestrar e estocar carbono no solo (Tabela 1).

Os resultados da categoria de mudanças climáticas (Tabela 3, 4 e 5), corroboram com Salomone (2003), Humbert *et al.* (2009), Noponen *et al.* (2012) e Thrin *et al.* (2020). Esses estudos de ACV mostraram que melhorias no consumo de combustível e na eficiência energética, reduziram o 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.

Já a cafeicultura convencional é conhecida pelo uso intensivo de defensivos agrícolas, fertilizantes e diesel para otimização da produção, 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 pela 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).

Em se tratando de acidificação terrestre ficou evidente que o sistema MC melhorou o ambiente de produção, tornando-o menos ácido, devido as correções controladas com calcário e uso



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA E BALANÇO DE CARBONO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO CAFFEEIRA DO CERRADO MINEIRO, BRASIL  
Carla Eloize Carducci, Cíntia Ferreira Anís, Daiane Pereira de Souza, Joyce Cristina Costa, Cláudio Favarini Ruviano

de gesso em maior profundidade (2 m), além da menor necessidade de aplicação de fertilizantes nitrogenados, devido à presença periódica de resíduos vegetais provenientes da forrageira na entrelinha, que por meio da ciclagem fornece gradativamente os nutrientes (Silva *et al.*, 2013; Carducci *et al.*, 2015; Serafim *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2019).

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 MC, contribuem para minimização das alterações na acidez do solo, ou seja, no pH e a consequente perda de carbono orgânico. Assim, práticas de manejo menos intensivas, com menor revolvimento do solo e plantio da braquiária, geram maior potencial para armazenamento de carbono e eficiência microbiana, pois amenizam a acidificação do solo devido a diminuição da temperatura, aumento da aeração e da cobertura do solo, agregação e do não fracionamento e incorporação dos resíduos vegetais (Inagaki *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2013).

Dados da CONAB (2019), 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<sup>-1</sup>, 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<sup>-1</sup>, já em 2023 que foi o ano de bianualidade negativa a média brasileira se manteve em 29 sc ha<sup>-1</sup> (Conab, 2023). Assim, denota-se o potencial de crescimento de produtividade e o uso mais eficiente da terra.

Os resultados evidenciaram que o sistema MC conseguiu produzir mais, utilizando menor área de ocupação pela planta quando comparado ao sistema CV (Tabela 6). Anteriormente, associava-se o aumento de produtividade com o aumento de área expandida (desmatamento) o que causaria 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 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).

A otimização dos processos produtivos em relação ao adequado uso da terra é de extrema relevância a fim de evitar que ocorram mudanças de uso da terra, pois de acordo com Usva *et al.* (2020), a mudança no uso 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, em áreas florestais para culturas agrícolas perenes, como no Brasil, podem causar impactos climáticos regionais, pois a biomassa acima do solo é perdida e o carbono no solo pode ser liberado para atmosfera, com o uso de equipamentos que revolvam o solo.

Conforme os estudos de Winkler *et al.* (2021), a mudança de uso da terra, impulsionada pela expansão agrícola, pode causar impactos negativos ao clima regional, além de degradação do ecossistema, como consequência do crescimento populacional e aumento do consumo (Saath;





## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA E BALANÇO DE CARBONO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO CAFFEEIRA DO CERRADO MINEIRO, BRASIL  
Carla Eloize Carducci, Cíntia Ferreira Anis, Daiane Pereira de Souza, Joyce Cristina Costa, Cláudio Favarini Ruviano

Fachinello, 2018). Entretanto os produtores que ainda utilizam apenas sistemas convencionais para produção agrícola também se deparam com problemas de degradação ambiental, perda de biodiversidade, baixa produtividade e fertilidade física e química do solo a curto e longo prazo, esses fatores tornam-se um ciclo vicioso devido ao alto custo de reparação do solo (Santos *et al.*, 2014; Carducci *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2016).

### 5. CONSIDERAÇÕES

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

Apesar de grande parte da literatura estar em consenso de que os sistemas conservacionistas de produção agrícola; a exemplo do MC em estudo, além do sistema plantio direto e das integrações (ILPF); são mais sustentáveis ao ambiente, este trabalho além de corroborar com esta afirmação, quantificou através da ACV, que o sistema MC reduziu em 37,70% o potencial de aquecimento em 5% a acidificação do solo e em 20,18% o uso da terra e aumentou o estoque de carbono em 38,55% em relação ao CV e, ainda, com ganhos em produtividade média ao longo dos 10 anos avaliados de 39 sc ha<sup>-1</sup>, que está acima da média nacional.

Ficou evidente pelo ACV que a etapa produtiva do café (manutenção até a colheita) foi a responsável pelas maiores emissões de GEE em ambos os sistemas de produção avaliados, especialmente no CV devido ao uso, em maior quantidade, de fertilizantes, defensivos agrícolas, combustíveis fósseis e maior espaçamento entre plantas. 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.

O sistema MC, denominado AP Romero comercialmente, poderá servir de modelo para os agentes tomadores de decisão do agronegócio e que possam contribuir para o desenvolvimento de políticas públicas que possam orientar os agricultores a se adequarem as exigências mundiais para preservação ambiental com aumento de produtividade.

Os autores sugerem estudos comparativos futuros, com base de dados que abranjam mais de dez anos de monitoramento e 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.

### REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR ISO 14040:2009**. Associação Brasileira de Normas e Técnicas. Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. 2. ed. 21/05/2009. Versão revisada 21/07/2014. ISBN 978-85-07-01532-1. 2009. pp.21.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA E BALANÇO DE CARBONO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO CAFEIEIRA DO CERRADO MINEIRO, BRASIL  
Carla Eloize Carducci, Cíntia Ferreira Anís, Daiane Pereira de Souza, Joyce Cristina Costa, Cláudio Favarini Ruviano

<https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

ANIS, C. F. **Sistema conservacionista de produção cafeeira e a geração de crédito de carbono.** 2021. Dissertação (Mestrado em Agronegócio) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2021. Disponível em: <https://portal.ufgd.edu.br/pos-graduacao/mestrado-agronegocios/dissertacoes-defendidas>. Acesso em: 10 out. 2023.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; MARTINS, S. C. *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.; ALBRECHT, S.; BRAUNER, E. *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.; BASSET-MENS, C.; TRAN, T. *et al.* LCA Applied to perennial cropping systems: A review focused on the farm stage. **International Journal of Life of Cycle Assesment**, v. 18, n. 2, p. 340-361, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0502-z>

BOSSIO, D. A.; COOK-PATTON, S. C.; ELLIS, P. W. *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>

BRIEDIS, C.; SÁ, J. C. M.; LAL, R.; TIVET, F. *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>

CONAB. 2023. ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA. **Café. Safra 2023. 3º levantamento.** [S. l.]: CONAB, 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe/boletim-da-safra-de-cafe>. Acesso em: 23 nov. 2023.

CONAB. ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA. **Café. SAFRA 2019, n.1 - Primeiro levantamento.** S. l.]: CONAB, 2019. <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe/boletim-da-safra-de-cafe/item/10650-1-levantamento-de-cafe-safra-2019>. Acesso em: 12 mar. 2019.

CARDUCCI, C. E.; ZINN, Y.L.; ROSSONI, D.F. *et al.* Visual analysis and X-ray computed tomography for assessing the spatial variability of soil structure in a cultivated Oxisol, **Soil & Tillage Research**, v. 173, p. 15–23, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.03.006>

CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, G. C.; CURI, N. *et al.* Gypsum effects on the spatial distribution of coffee roots and the pores system in oxidic Brazilian Latosol. **Soil & Tillage Research**, v. 145, n. 1, p. 171-180, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.09.015>

CARDUCCI, C. E.; PINTO, L. C.; BARBOSA, S. N.; COSTA, J. C.; ZINN, Y. L.; HECK, R. J. micromorfologia e tomografia de raios-x: porosidade de um latossolo gibbsítico sob sistema múltiplas-práticas de manejo cafeeiro. **Recima 21**, v.3, n.2, p: e361520. <https://doi.org/10.47820/recima21.v3i6.1520>

COLTRO, L.; MOURAD, A.; OLIVEIRA, P. *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>

DIAS, L. A.; TOLENTINO JUNIOR, J.; BOSCO, L.C. Mudanças climáticas nos ecossistemas agrícolas e naturais: medidas de mitigação e adaptação. **Agropecuária Catarinense**, v. 33, n. 2, p. 82-87, 2020. <https://doi.org/10.52945/rac.v33i2.523>



**RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR**  
**ISSN 2675-6218**

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA E BALANÇO DE CARBONO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO CAFEEIRA DO CERRADO MINEIRO, BRASIL  
 Carla Eloize Carducci, Cíntia Ferreira Anis, Daiane Pereira de Souza, Joyce Cristina Costa, Clandio Favarini Ruviano

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.; SULEIMAN, A. K. A.; VAN DEN ELSEN, S. J. J. *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.; LOERINCIK, Y.; ROSSI, V. *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.; SÁ, J. C. M.; CAIRES, E. F.; GONÇALVES, D. R. P. Why does carbon increase in highly weathered soil under no-till upon lime and gypsum use? **Science of the Total Environment**, v. 599-600, n.12, p. 523- 532, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.234>

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **IPCC Good Practice Guidance for LULUCF**. Chapter 3: LUCF. 2019.

IUSS Working Group WRB. **World reference base for soil resources 2014**. 2. ed. World Soil Resources Report, n. 106. F. Rome: FAO. 2014.

LABORDE, D.; MAMUN, A.; MARTIN, W. *et al.* Agricultural subsidies and global greenhouse gas emissions. **Nature Communications**, v. 12 n. 2601, 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.; ARAÚJO, K. C. S; LOPES, I. M. *et al.* Uma análise as consequências da cafeicultura convencional e as opções de modelos sustentáveis de produção – agricultura orgânica e agroflorestal. **REDD - Revista Espaço de Diálogo e Desconexão**, v. 8, n. 1, 2014. <https://doi.org/10.32760/1984-1736/REDD/2014.v8i2.6912>

LUGATO, E.; PANIAGUA L.; JONES A. *et al.* Complementing the topsoil information of the Land Use/Land Cover Area Frame Survey (LUCAS) with modelled N<sub>2</sub>O emissions. **Plos One**, v. 12, n. 4, p. e0176111, 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.; PUISSANT, J.; BUCKERIDGE, K. M. *et al.* Land use driven change in soil pH affects microbial carbon cycling processes. **Nature Communications**, v. 9, n. 1, p. 3591, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05980-1>

MOURAD, A. L.; COLTRO, L.; OLIVEIRA, P. A. P. L. V. *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/10.1065/lca2006.09.272>

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. e00096, 2020. <https://doi.org/10.1002/geo2.96>



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA E BALANÇO DE CARBONO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO CAFEIEIRA DO CERRADO MINEIRO, BRASIL  
Carla Eloize Carducci, Cíntia Ferreira Anis, Daiane Pereira de Souza, Joyce Cristina Costa, Clandio Favarini Ruviaro

NASSER, M. D.; TARSITANO, M. A. A.; LACERDA, M. D.; KOGA, P. S. L. 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.

<http://www.iea.agricultura.sp.gov.br/ftp/iea/publicacoes/IE/2012/tec1-03-04-2012.pdf>

NOPONEN, M. R. A.; EDWARDS-JONES, G.; HAGGAR, J. P. *et al.* Greenhouse gas emissions in coffee grown with differing input levels under conventional and organic management. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 151, n.1, p. 6-15, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.01.019>

RAMOS, B. Z.; TOLEDO, J. P. V. F.; LIMA, J. M. Doses de gesso em cafeeiro: influência nos teores de cálcio, magnésio, potássio e ph na solução de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 4, p. 1018-1026, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000400019>

ROSENZWEIG, C.; ELLIOTT, J.; DERYNG, D.; RUANE, A.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, 2013. <https://doi.org/10.1073/pnas.1222463110>

RUVIARO, C. F.; GIANEZINI, M.; BRANDÃO, F. S. *et al.* Life cycle assessment in Brazilian agriculture facing worldwide trends. **Journal of Cleaner Production**, v. 28, n.6, 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. **Food, Agriculture & Environment**, v.1, n.2, p. 295-300, 2003.

SANTOS, W. J. R.; SILVA, B. M.; OLIVEIRA, G. C. *et al.* Soil moisture in the root zone and its relation to plant vigor assessed by remote sensing at management scale. **Geoderma**, v. 221-222, p. 91-95, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.01.006>

SERAFIM, M. E.; OLIVEIRA, G. C.; LIMA, J. M. *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.; OLIVEIRA, C.G.; OLIVEIRA, A. S. *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. <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/12521>

SILVA, É. A.; OLIVEIRA, G.C.; CARDUCCI, C.E. *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>

SILVA, B. M.; OLIVEIRA, G. C.; SERAFIM, M. E. *et al.* Critical soil moisture range for a coffee crop in an oxidic latosol as affected by soil management. **Soil & Tillage Research**, v. 154, p. 103-113, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.06.013>

SILVA, B. M.; OLIVEIRA, G.C; SERAFIM, M.E. *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 & Tillage Research**, v. 189, p. 36-43, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.12.016>



**RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR**  
**ISSN 2675-6218**

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA E BALANÇO DE CARBONO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO CAFEEIRA DO CERRADO MINEIRO, BRASIL  
 Carla Eloize Carducci, Cíntia Ferreira Anis, Daiane Pereira de Souza, Joyce Cristina Costa, Clandio Favarini Ruviano

SILVA, E. A.; OLIVEIRA, G. C.; CARDUCCI, G. C. *et al.* 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>

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to soil taxonomy**. 12 ed. Washington, DC: USDA-Natural Resources Conservation Service. 2014. p. 410.

TRINH, L. T. K.; HU, A. H.; LAN, Y.C.; CHEN, Z.H. 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.; SINKKO, T.; SILVENIUS, F. *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.; FUCHS, R.; ROUNSEVELL, M.; EROLD, M. Global land use changes are four times greater than previously estimated. **Nature Communications**, v. 12, p. 2501, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22702-2>