

PROJETO CECAFÉ

ESTIMATIVA DAS EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO CAFÉ BRASILEIRO

**A ADICIONALIDADE DE CARBONO DEVIDO ÀS BOAS
PRÁTICAS EM FAZENDAS DE MINAS GERAIS, BRASIL**

Abril 2022





ESTIMATIVA DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO CAFÉ BRASILEIRO - CECAFÉ



Conselho Diretor

André Villas Boas
José Adalberto Oliveira Veríssimo
Maria Célia Meirelles Toledo Cruz
Maria Zulmira de Souza
Ricardo Abramovay
Sérgio Augusto Pires Esteves
Tasso Rezende de Azevedo

Conselho Consultivo

Marcelo Jorge de Paula Paixão
Mario Cesar Mantovani
Rubens Ramos Mendonça

Conselho Fiscal

Adalto Tadeu Basílio
Erika Bechara
Rubens Mazon

Secretária Executiva

Marina Piatto Garcia

Secretária Executiva Adjunta

Ana Patrícia Cota Gomes

Coordenação

Renata Potenza

Consultoria

Ana Luisa Vasconcelos
Prof. Dr. Carlos Eduardo Pellegrino Cerri

Supervisão

Isabel Garcia Drigo

**CARBON
ONTRACK**

Carbon on Track é um programa do Imaflora concebido para valorizar a agropecuária brasileira de baixo carbono e a restauração florestal na agenda climática. Por meio do programa, empreendimentos agropecuários podem contratar o cálculo do balanço de carbono que mostra a estimativa de emissão e remoção de gases do efeito estufa de suas atividades, baseado em metodologias reconhecidas internacionalmente. Os empreendimentos também obtêm um relatório dos resultados com recomendações para mitigação e melhoria contínua. Na Plataforma digital que integra o programa, é possível monitorar ano a ano o desempenho das propriedades e plantas industriais incluídas no balanço e gerar relatórios e informação em formato amigável para clientes e demais partes interessadas. Ciência, comunicação e transparência para pavimentar a trilha rumo à agropecuária de baixo carbono.



Agradecimentos

Este trabalho, liderado pelo CECAFÉ, foi desenvolvido em parceria com Cooxupé, ED&F Man Volcafé Brasil, EISA – Empresa Interagrícola, Exportadora Guaxupé e Projeto Educampo do Sebrae/MG, que nos auxiliaram no levantamento dos dados e na discussão por meio do Comitê Técnico. Foram parceiros financiadores desta iniciativa a Fundação Lavazza e a Starbucks. Gostaríamos de agradecer também os proprietários, representantes e funcionários das fazendas que gentilmente cederam as informações e áreas para as coletas de solo e plantas.

SUMÁRIO

	RESUMO	06
1.	INTRODUÇÃO GERAL	07
	OBJETIVO PRINCIPAL	08
3.	PASSO 1: EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA	09
	MENSURAÇÕES DO SEQUESTRO DE C NO SOLO E NA PLANTA	17
5.	BALANÇO DE CARBONO	28
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
7.	RECOMENDAÇÕES PARA ATINGIR MENORES EMISSÕES DE GEE	31
	REFERÊNCIAS	32
	ANEXO 1 - FOTOS DAS AMOSTRAGENS DE PLANTA E SOLO NO CAMPO	33
	ANEXO 2 - MÉTODO DE QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES E REMOÇÕES DE GEE	36
	ANEXO 3 - FATORES DE EMISSÃO E CONVERSÃO	42



RESUMO

A mudança climática é uma resposta global que requer ações em nível local. A estimativa das fontes e sumidouros de gases de efeito estufa (GEE) das fazendas facilita sua avaliação para compreender e fomentar a implementação das boas práticas e aumentar as opções de mitigação para a cadeia produtiva do café. Este trabalho teve como objetivo estimar o balanço de carbono de fazendas de café devido às boas práticas agrícolas. Para atingir este objetivo, o projeto tem duas fases: **(i)** mensuração do estoque de C de planta e de solo coletados em fazendas de café localizadas em três regiões do Estado de Minas Gerais, Brasil: Cerrado, Matas de Minas e Sul de Minas; **(ii)** a estimativa de emissões de gases de efeito estufa de 40 fazendas distribuídas nessas três regiões, analisando as propriedades por boas práticas e convencionais, mas também mecanização e irrigação. Por fim, baseado nas duas fases acima, o estudo apresenta o balanço de C, a diferença entre emissões e sequestro, para estimar a adicionalidade de C devido às boas práticas. Como resultado, estimou-se que entre as principais fontes emissoras estão

o uso de adubos nitrogenados (42%), seguindo de calcário (28%), combustíveis líquidos, como diesel e gasolina (17%) e agroquímicos (8%). Em relação ao balanço de C total, conclui-se que devido à biomassa da planta, a cafeicultura mesmo com práticas convencionais, as quais já são consideradas práticas mais avançadas, estoca carbono com uma média de $-3,4 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e, portanto, possuem um balanço negativo. Enquanto as fazendas com boas práticas estocam $-12,25 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, considerando solo e planta. Ao analisarmos o balanço, emissões menos sequestro, as boas práticas foram eficientes para incrementar os estoques de C em $-3,79 \text{ t CO}_2$ por t de café verde em relação ao manejo tradicional. Complementarmente, as fazendas do Brasil possuem a obrigatoriedade de manter áreas de preservação, possuindo um estoque extra de em média 50 t de C de área verde por área de café cultivado. Assim, ao analisarmos o balanço de C das fazendas com boas práticas, verifica-se um maior sequestro de carbono frente às emissões





INTRODUÇÃO GERAL

As mudanças climáticas são consideradas uma das pautas mais importantes do século, e ações de mitigação está na agenda de formuladores de políticas públicas, países, indústrias e até mesmo sociedade (UNFCCC, 2021). Recentemente na reunião da Glasgow (COP26), muitos países e setores se reuniram e atualizaram suas metas individuais para corroborar com a meta global do Acordo de Paris. Esta busca por ações e metas globais de redução de emissão em diferentes escalas é essencial na busca de soluções para atingir as metas globais e mitigar os efeitos das mudanças climáticas.

Entre os setores, um de grande destaque é do setor agropecuário, já que atividades agrossilvipastoris são responsáveis por um quarto das emissões antrópicas, representando 12 GT CO₂e por ano (UNEP, 2019). Os consumidores, por sua vez, principalmente europeus, estão também preocupados com o impacto dos nossos hábitos de consumo, e dispostos a valorizar produtos identificados como carbono neutro (Feucht and Zander 2018; Birkenberg *et al.* 2021).

Este aumento de busca por estudos e dados sobre as emissões e remoções de carbono é visível em vários setores, principalmente no café. O café é a bebida mais consumida no mundo com uma taxa de consumo crescente. É amplamente cultivada em mais de 80 países sendo o Brasil, o maior produtor e exportador, responsável por um terço da produção mundial (Davis *et al.* 2006).

A neutralidade de carbono no café entretanto é um processo mais complexo que não se resume em sequestrar mais carbono que emitir. De acordo com o artigo 6º do Acordo de Paris (UNFCCC, 2016), pode ser considerado um contribuinte para a redução das emissões de GEE, os sistemas de produção que conseguem sequestrar C adicionais as práticas já vigentes.

Este conceito, chamado de adicionalidade, é o componente chave para evitar a dupla contabilização de carbono que já está sendo estocado, e que portando, não vai contribuir para a redução das emissões globais, e consequente, mitigação dos efeitos do clima (Michaelowa *et al.* 2019).

No Brasil o sistema de produção de café se desenvolveu ao longo dos anos com práticas mais sustentáveis. As fazendas que consideramos com “boas práticas” apresentam técnicas como o consórcio de entre linha, preferência por adubos orgânicos e organominerais, manejo integrado de pragas e doenças, a ferti/irrigação para áreas suscetíveis a déficits hídricos, entre outros. Esses manejos mais sustentáveis possuem o potencial de sequestrar mais carbono em relação as práticas convencionais. No entanto, há poucos artigos que mesuram ou estimam o benefício deste sistema, principalmente quando consideramos um balanço de carbono de fazenda (Killian *et al.* 2013; Martins *et al.* 2018; Nojonen *et al.* 2012).

Na literatura, maioria realizadas na América Central, comparam a produção sombreada e a monocultura, entretanto desconsideram essas boas práticas utilizadas. Outro fator, é que a maioria das metodologias (i.g.: Cool Farm Tool, Agrecalc, SHAMBA) não consideraram carbono sequestrado no solo e pelo cafeeiro. Esta falha foi recentemente apontada pelo World Coffee Research WCR (2020), indicando que atualmente não há uma estimativa acurada da pegada de carbono no setor cafeeiro (Acharya e Lal, 2020).

Desta forma se faz necessário um estudo brasileiro que mensure o balanço de C, emissões e remoções de GEE, das fazendas de café nas regiões brasileiras levando em consideração as mensurações de estoque de C e boas práticas agrícolas da cafeicultura do Brasil.



OBJETIVO PRINCIPAL

Este trabalho tem como objetivo estimar o balanço de carbono devido à adoção de boas práticas agrícolas nas principais regiões produtoras de café do Brasil.

Objetivos Específicos

- Estimar as emissões de 40 fazendas das regiões representativas e comparar as emissões de acordo com a intensidade de mecanização, presença de irrigação e boas práticas agrícolas;
- Mensurar os estoques de carbono devido à adicionalidade potencialmente ocasionada pela adoção de boas práticas de manejo agrícola em fazendas localizadas nas regiões mais representativas, considerando a biomassa da planta e o solo (mensurado até 100cm de profundidade);
- Calcular o balanço de carbono anual, ou seja, a diferença entre as emissões de gases de efeito estufa e o sequestro, em CO₂ equivalente, da cafeicultura;
- Estimar o estoque de carbono presente nas áreas florestadas, áreas de preservação permanente e reserva legal.





PASSO 1: EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

A produção do café arábica brasileiro se diferencia entre outras regiões produtoras do mundo, principalmente por possuir um sistema de produção de monocultura e em relação ao sistema arborizado ou sombreado presente na América Central por exemplo. Entretanto as diferenças não se resumem a isso. Dentro de Minas Gerais, principal estado produtor, há regiões com sistemas produtivos muito distintos entre si devido ao tamanho das propriedades, e ao relevo, levando a práticas agrônômicas distintas. Entre esses sistemas, está a mecanização, adição de culturas de entrelinhas, aporte constante de matéria orgânica (podas, entrelinha vegetada, retorno da palha), irrigação, e beneficiamento distintos que corroboram com manejos intensificados e diversos ao longo dos seu território.

Regiões de Minas Gerais

Sul de Minas é a principal região produtora do Brasil, caracteriza-se por ser uma região montanhosa, com colheita manual. Trata-se de uma divisão geográfica (IBGE, 2022), sem possuir uma indicação de procedência única, englobando a indicação geográfica da Mantiqueira (IMA nº 1600, de 11 de abril de 2016) e outras cidades localizadas na porção sul e sudeste do estado de MG. Está em uma área de intersecção de biomas, Mata Atlântica e Cerrado.

A região das Mata de Minas é a segunda maior região produtora de café de Minas Gerais com predominância de pequenos agricultores. Localizada ao leste do estado, se insere, predominantemente, no bioma de Mata Atlântica. A região se caracteriza pelo clima ameno e relevo montanhoso,

com altitude média superior a 650 metros. A indicação de procedência foi obtida em maio de 2017.

Por último, a região do Cerrado Mineiro localizada no noroeste do estado de Minas Gerais, que recebe o nome do bioma que está ao seu entorno. Caracteriza-se por lavouras com maior mecanização, solos ácidos e com maior presença de propriedades com irrigação. A indicação geográfica (IMA nº 165, de 27 abril de 1995), abrange regiões do Triângulo e Alto do Parnaíba parte do Alto São Francisco e do Noroeste de Minas (DataSebrae, 2021).

Características dos sistemas de produção de café de Minas Gerais

De forma geral, o sistema de produção no Brasil não utiliza sistemas agroflorestais, trata-se geralmente de monocultivo. As entrelinhas normalmente são vegetadas, principalmente no início da cultura para barrar o vento, ou durante todo ciclo aumentando a qualidade do solo. Quando bem manejada, a área possui uma grande quantidade de resíduo de alta relação C/N em toda a área, seja a liteira oriunda da senescência de folha, resíduo de podas e beneficiamento, i.e.: casca e polpa que retornam ao campo. Tais práticas aumentam a matéria orgânica, qualidade do solo, infiltração de água, mitigando processos erosivos e aumentando o estoque de C.

Neste mesmo sentido, outras práticas sustentáveis aplicadas são a adubação orgânicas e o manejo integrado de pragas. O uso de adubos organominerais, ou compostos orgânicos

produzidos na própria fazenda, são recursos com baixa emissão de C que além de não emitir gases estufa, como N_2O , ainda aumentam o estoque de C. Entre os adubos químicos, a ureia possui o maior potencial poluidor, devido à sua emissão direta de GEE, e indireta, pela volatilização de NH_3 . Desta forma, tecnologias que mitigam a volatilização (e.g.: aplicação de lâmina de irrigação que incorpore o adubo, aplicação em subsuperfície), ou uso de adubos encapsulados, podem ser boas alternativas.

Outra característica de manejo que varia bastante em relação propriedades e regiões é a mecanização. Em áreas de relevo mais plano, várias operações são mecanizáveis: plantio, reforma, a colheita, podas, aplicação de agrotóxicos, manejo do mato. O uso sistematizado da poda dos ramos laterais (plagiotrópicos) é utilizado para o aumento da longevidade da lavoura, redução de custos de colheita e agrotóxicos. Pode ser realizado a cada dois anos (chamado então de safra zero) ou de forma mais espaçada como a cada 5 anos. Produzindo uma quantidade de resíduo alta, que varia de 10 a 20 $Mg\ ha^{-1}$.

Por último, o uso de irrigação tem sido incentivado e permite a expansão da cafeicultura em novas áreas e a sua intensificação da produção. A irrigação com o uso de fertilizantes diluídos, fertirrigação, é considerado o manejo mais eficiente de água e com menor emissão de GEE (Emde 2020; BRASIL 2000). Isso ocorre devido à redução da superfície de evaporação, redução da percolação e lixiviação de N, volatilização além de permitir o fracionamento das aplicações de N, aumentando a eficiência de adubação. Além disso, a irrigação aumenta o carbono orgânico do solo,

principalmente em solos áridos (Trost et al. 2013). Segundo Emde *et al.* (2020) a irrigação pode aumentar 15% o estoque de C nos 10 cm de solo, e 6%, 100 cm de profundidade. A prática é fomentada pelo Ministério da Agricultura, por meio do Plano ABC+ (Plano Setorial de Adaptação e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária) (MAPA 2022).

■ 3.1 MATERIAL E MÉTODOS

3.1.1 COLETA DE DADOS

Foram coletadas informações referentes as práticas culturais da safra 2020/21 de 40 propriedades produtoras de café arábica de Minas Gerais. O levantamento dos dados foi realizado pela equipe técnica das instituições parceiras do projeto Cooxupé, ED&F Man Volcafé Brasil, EISA – Empresa Interagrícola, Exportadora Guaxupé e Projeto Educampo do Sebrae/MG. Entre as áreas produtoras do estado de MG, o principal estado produtor de café, foram selecionadas 40 fazendas localizadas em três principais regiões produtora do estado: Sul de Minas (20), Cerrado Mineiro (10) e Matas de Minas (10) (Figura 1).

As fazendas selecionadas para o estudo, seguiram os seguintes critérios: espaçamento 3000-4000 plantas por hectare, café arábica variedade Catuaí e altura média entre 2 e 3 metros. As fazendas foram separadas de acordo com as sub-regiões e/ou indicação geográfica cadastrado no INPI do estado de Minas, sendo divididas entre: regiões, presença de irrigação, grau de mecanização e de boas práticas agrícolas.

Figura 1. Mapa do estado de Minas Gerais com destaque para as três principais regiões e a localização das 40 propriedades estudadas

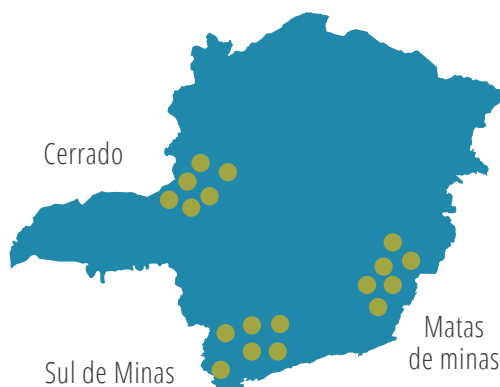


Tabela 1. Classificação das 40 fazendas selecionadas para este estudo

Fazenda	Região	Município	Produtividade	Mecanização	Irrigação	Boas Práticas
Fazenda 1	Sul de Minas	Alfenas	42.50	Mecanizada	Ausente	Tradicional
Fazenda 2	Sul de Minas	Alfenas	32.50	Mecanizada	Ausente	Tradicional
Fazenda 3	Sul de Minas	Juruáia	35.00	Mecanizada	Ausente	Tradicional
Fazenda 4	Sul de Minas	São Pedro da União	17.00	Semimecanizada	Ausente	Tradicional
Fazenda 5	Cerrado	Monte Carmelo	27.50	Mecanizada	Ausente	Tradicional
Fazenda 6	Cerrado	Monte Carmelo	27.50	Mecanizada	Ausente	Tradicional
Fazenda 7	Cerrado	Monte Carmelo	43.50	Mecanizada	Irrigado	Tradicional
Fazenda 8	Cerrado	Estrela do Sul	44.50	Mecanizada	Irrigado	Tradicional
Fazenda 9	Sul de Minas	Carmo de Minas	37.00	Mecanizada	Ausente	Tradicional
Fazenda 10	Cerrado	Patos de Minas	42.50	Mecanizada	Ausente	Tradicional
Fazenda 11	Cerrado	Araguari	45.00	Mecanizada	Ausente	Tradicional
Fazenda 12	Sul de Minas	Alfenas	55.00	Mecanizada	Irrigado	Tradicional
Fazenda 13	Sul de Minas	Alfenas	37.50	Mecanizada	Irrigado	Tradicional
Fazenda 14	Sul de Minas	Nepomuceno	32.50	Semimecanizada	Ausente	Tradicional
Fazenda 15	Sul de Minas	Caconde	27.00	Semimecanizada	Ausente	Tradicional
Fazenda 16	Sul de Minas	Bandeira do Sul	31.00	Semimecanizada	Ausente	Tradicional
Fazenda 17	Sul de Minas	Guaranésia	30.50	Mecanizada	Ausente	Tradicional
Fazenda 18	Sul de Minas	Guaxupé	27.81	Mecanizada	Ausente	Boas práticas
Fazenda 19	Sul de Minas	Guaxupé	26.50	Semimecanizada	Ausente	Boas práticas
Fazenda 20	Sul de Minas	Caconde	26.00	Semimecanizada	Ausente	Tradicional
Fazenda 21	Sul de Minas	Guaranésia	34.09	Mecanizada	Ausente	Boas práticas
Fazenda 22	Sul de Minas	Simonésia	35.00	Semimecanizada	Ausente	Tradicional
Fazenda 23	Sul de Minas	São Sebastião do Paraíso	24.00	Mecanizada	Ausente	Boas práticas
Fazenda 24	Sul de Minas	Ilicínea	27.50	Semimecanizada	Ausente	Tradicional
Fazenda 25	Sul de Minas	Santana da Vargem	37.50	Mecanizada	Ausente	Tradicional
Fazenda 26	Cerrado	São Tomaz de Aquino	37.50	Mecanizada	Ausente	Boas práticas
Fazenda 27	Cerrado	Patrocínio	42.50	Semimecanizada	Ausente	Tradicional
Fazenda 28	Cerrado	Patrocínio	40.00	Mecanizada	Ausente	Tradicional
Fazenda 29	Sul de Minas	Careaçu	26.50	Semimecanizada	Ausente	Boas práticas
Fazenda 30	Cerrado	Patrocínio	26.85	Mecanizada	Ausente	Boas práticas
Fazenda 31	Matas de Minas	Santa Margarida	40.00	Semimecanizada	Ausente	Boas práticas
Fazenda 32	Sul de Minas	Campanha	41.50	Semimecanizada	Ausente	Boas práticas
Fazenda 33	Matas de Minas	Manhuaçu	30.50	Semimecanizada	Ausente	Tradicional
Fazenda 34	Matas de Minas	Caputira	32.93	Semimecanizada	Ausente	Tradicional
Fazenda 35	Matas de Minas	Manhuaçu	31.56	Semimecanizada	Ausente	Boas práticas
Fazenda 36	Matas de Minas	Manhuaçu	38.75	Semimecanizada	Ausente	Tradicional
Fazenda 37	Matas de Minas	Santa Margarida	35.80	Semimecanizada	Ausente	Tradicional
Fazenda 38	Matas de Minas	Lajinha	34.70	Semimecanizada	Ausente	Tradicional
Fazenda 39	Matas de Minas	Manhumirim	44.00	Semimecanizada	Ausente	Tradicional
Fazenda 40	Matas de Minas	Manhuaçu	33.50	Semimecanizada	Ausente	Boas práticas

■ 3.1.2 MÉTODO DE QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES E BALANÇO DE GEE

O cálculo de emissões de gases de efeito estufa (GEE) consiste na multiplicação de uma informação relativa à fonte e/ou atividade emissora por um fator de emissão encontrado na literatura, abaixo.

Emissão de GEE = Dado de atividade × Fator de emissão

Onde: Emissão de GEE trata-se da quantidade emitida de GEE proveniente da aplicação de determinada fonte emissora. Exemplo: Emissões de GEE pelo consumo de diesel. Dado de atividade trata-se da quantidade total consumida de determinado insumo que é precursor de GEE. Exemplo: Litros de óleo diesel. Fator de emissão, trata-se da emissão de GEE por unidade da fonte emissora identificada. Exemplo: kg GEE por litros de diesel.

Para os cálculos de remoções de GEE, utilizamos a mesma regra, mas com os fatores de remoção de cada atividade agrícola que são capazes de estocar carbono nos compartimentos solo e planta. Os gases de efeito estufa (GEE) considerados são: **i.** dióxido de carbono (CO₂); **ii.** metano (CH₄) e **iii.** óxido nitroso (N₂O), regulamentados pelo Protocolo de Quioto cuja emissões estão relacionadas às atividades agrícolas.

Para avaliação dos resultados e comparações com outros setores, as emissões de CH₄ e N₂O são convertidas em equivalentes em dióxido de carbono, (CO₂e). Para isso, é utilizada uma métrica que estima a potencial contribuição de determinado gás de efeito estufa para o aquecimento global, em relação ao CO₂, definido como gás referência, cujo potencial de aquecimento global é considerado 1. Neste estudo foram considerados os potenciais de aquecimento global (GWP, sigla em inglês) propostos no Fifth Assessment Report, 2014 (AR5) do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) para um horizonte de 100 anos, cujo, respectivos valores são 28 para o CH₄ e 265 para o N₂O.

As emissões de CO₂ oriundas da biomassa são chamadas de biogênicas. Estas emissões são consideradas equivalentes ao CO₂ retirado da atmosfera durante o processo de fotossíntese, não sendo assim contabilizada nos cálculos de emissão. É considerado como CO₂ biogênico material residual sobre o solo (podas, palha) e a combustão

(i.g: lenha, biocombustíveis). Entretanto, vale ressaltar que as emissões biogênicas são apenas referentes as emissões de CO₂, as emissões relativas a outros gases e poluentes são considerados.

■ 3.1.3 PREMISSAS SOBRE OS DADOS LEVANTADOS

Para melhor ajuste entre os dados reportados pelos produtores e a metodologia de cálculo foi necessário a adoção de critérios e premissas, a saber:

- **Foi considerado como boas práticas agrícolas:** manejo do mato com pouco herbicida, utilização de fertilizantes orgânicos ou organominerais, controle efetivo dos dados da atividade e baixa ou nenhuma quantidade de solo erodido ou exposto. Para o Cerrado, o uso de irrigação foi também considerado uma boa prática agrícola, devido à intensificação do sistema de produção.
- **Fatores de emissão da adubação química nitrogenada para adubos organominerais:** o fator de emissão considerado foi proporcional a quantidade de adubo orgânico e químico presente. Na ausência desta informação, foi considerado o 50% de adubo orgânico, com base na instrução normativa Nº 61, de 8 de julho de 2020 do MAPA que exige que adubos organominerais tenham no mínimo 50% de composição orgânica (MAPA, 2020).
- **Fatores de emissão da adubação química nitrogenada para ureias revestidas (polímeros, enxofre, gel):** o fator de emissão considerado foi de metade do valor considerado do mesmo adubo sem tecnologia. Segundo a literatura, a ureia revestida reduz em 30 a 60% a perda de N em relação a ureia tradicional (Cancellier et al. 2016) além da possibilidade da redução da frequência de aplicação destes fertilizantes.
- **Combustão no secador:** No Brasil, a primeira etapa do processamento se dá com a secagem do café de forma que a maioria das fazendas possuem terreiro para expor os frutos ao sol. Entretanto, pode ser necessário a utilização de secador, quando a capacidade do terreiro foi mal dimensionado, isso é, a colheita foi realizada rápida demais para a capacidade do terreiro, ou períodos de chuvas intensos na época de colheita. Os valores de combustível usado no secador por sua vez, apresentam alta variabilidade devido à fonte do

combustível – que pode ser lenha ou palha de café. A palha normalmente retorna para o campo totalmente ou parcialmente. Regiões pouco mecanizadas onde o retorno desta palha se torna operacionalmente inviável, e então é usada como combustível do secador muitas das vezes complementando o resíduo de eucalipto (como ocorre em algumas áreas do Sul de Minas) ou sendo o combustível principal (áreas com relevo muito acidentado na Matas de Minas). Além disso caso estes materiais não estejam com umidade adequada, o poder calorífero reduz, reduzindo a eficiência de queima (até 3 vezes mais). Há distintos tipo de secador, sendo os principais o de caixa e o rotativo, sendo o de caixa mais eficiente (SEBRAE 2022- informações passadas pelo corpo técnico). Além disso, há muitos produtores menores que utilizam secadores de terceiros ou terceirizam o secador para outras fazendas, apresentando dados sub ou superestimados de combustível. Neste último caso, todos os dados foram revistos, porém muitos não sabem informar com exatidão os seus consumos, principalmente quando há a mistura de duas fontes de

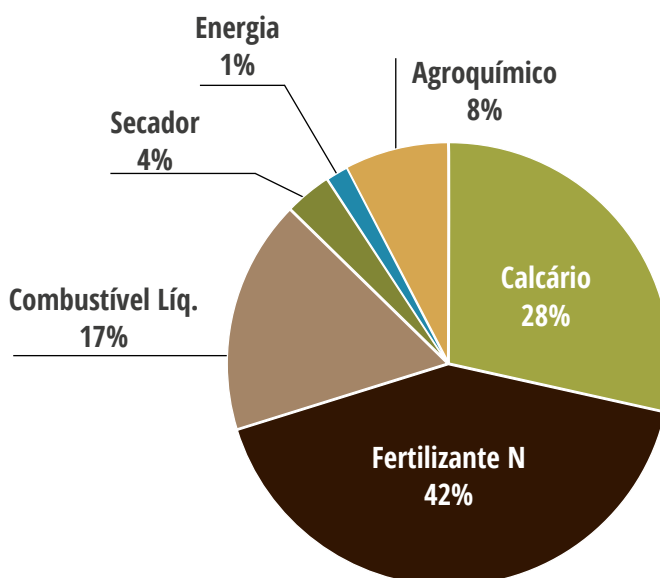
combustível, palha e lenha. Baseado na descrição acima, foi decidido pelo Comitê técnico do projeto, a adição de uma média de resíduos ($0,06 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$). A média foi aplicada apenas para fazendas que se encontrava com valores muito acima e que, após checagem o produtor indicou dificuldade de rastreabilidade do dado.

3.2 RESULTADOS

3.2.1 EMISSÕES TOTAIS

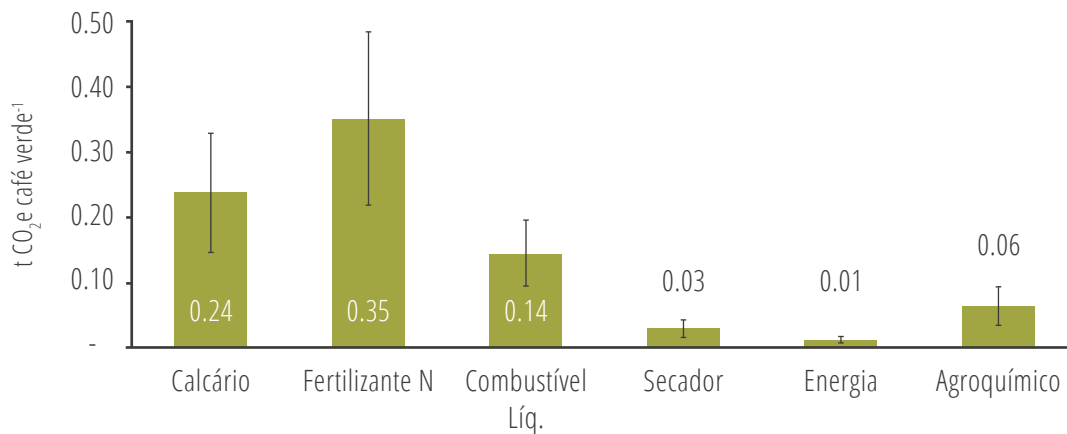
As estimativas totais de emissão de GEE variaram entre $0,40$ e $4,27 \text{ tCO}_2\text{e ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, apresentando uma média de $1,74 \text{ tCO}_2\text{e ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Dessas emissões, a principal fonte está associada ao uso de fertilizantes nitrogenados (42%), seguido da calagem do solo (28%), combustível fóssil (17%), agroquímicos (pesticidas, acaricidas, herbicidas e inseticidas) (8%), queima de lenha e resíduos culturais na secagem de café, quando necessária (4%) e de eletricidade (1%) (Figura 2).

Figura 2. Distribuição relativa das fontes emissoras nas fazendas cafeeiras das regiões produtoras do estado de Minas Gerais



A produtividade média das fazendas avaliadas varia de 17 a 45 sacas por hectare, possuindo uma média em torno de 34,6 sacas ha⁻¹, o que equivale a 2 t de café verde ha⁻¹ ano⁻¹. Dessa forma, a média de emissão na fazenda é 0,8 t CO₂ cada tonelada de café verde (Figura 3).

Figura 3. Distribuição das fontes emissoras nas fazendas cafeeiras das regiões produtoras do estado de Minas Gerais em relação à produtividade média (2 t ha⁻¹)



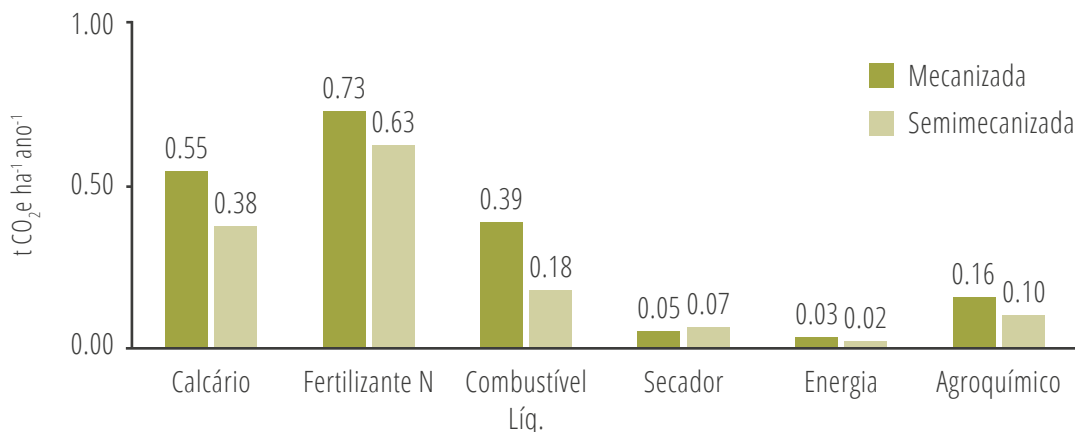
3.2.2 COMPARAÇÃO DAS EMISSÕES DEVIDO AOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO

A. MECANIZAÇÃO



A comparação em relação à mecanização restringiu-se as propriedades localizadas do Sul de Minas e Cerrado, visto que na região das Matas de Minas, todas as propriedades são semimecanizadas (Figura 4).

Figura 4. Distribuição das fontes emissoras nas fazendas cafeeiras mecanizadas e semimecanizadas



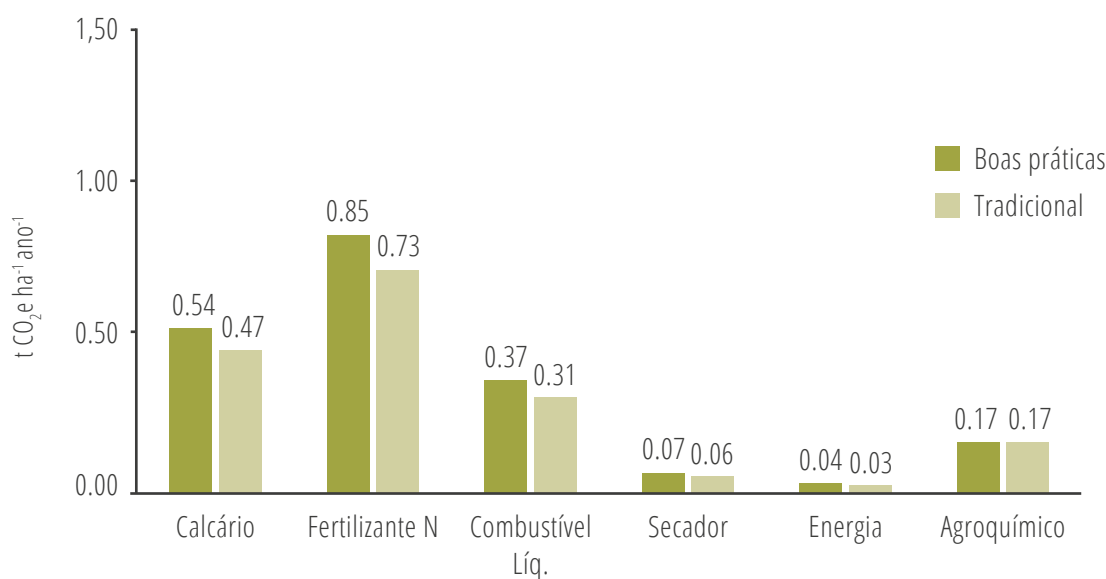
As áreas mecanizadas possuem maiores emissões (1,91 t CO₂ ha⁻¹) em relação às semimecanizadas (1,38 t CO₂ ha⁻¹), devido à uma intensificação maior visando maiores produtividades. Entre as fazendas avaliadas, as mecanizadas (35 sc ha⁻¹) possuem uma produtividade de 3 sacas a mais em relação às semimecanizadas (32 sc ha⁻¹).

Entre as fontes emissoras, destaca-se os combustíveis líquidos, com valores duas vezes maior no mecanizado em relação ao semimecanizado. O uso de calcário é 50% maior no mecanizado e de pesticidas 60% maior. Entre as emissões dos semimecanizados, a única que é maior em relação ao mecanizados são as emissões relativa ao secador. Isso se deve a maior queima de palha em relação à lenha, devido à dificuldade de retorno deste material nas propriedades de baixa mecanização e relevo acidentado, comum no Sul de Minas e, principalmente, nas Matas de Minas.

B. BOAS PRÁTICAS

As áreas com boas práticas agrícolas possuem maiores emissões (2,04 t CO₂ ha⁻¹) em relação às convencionais (1,77 t CO₂ ha⁻¹). Entre as fontes emissoras, a adubação nitrogenada é uma das que apresenta maior diferença entre boas práticas, seguido do calcário e combustíveis líquidos. Apesar de pouco intuitivo, é necessário ressaltar que muitas vezes a intensificação da lavoura demanda um maior aporte de recursos e, conseqüentemente, de carbono para gerar sequestros de carbono maiores (Figura 5), enfatizando ainda mais a necessidade de haver a verificação do balanço.

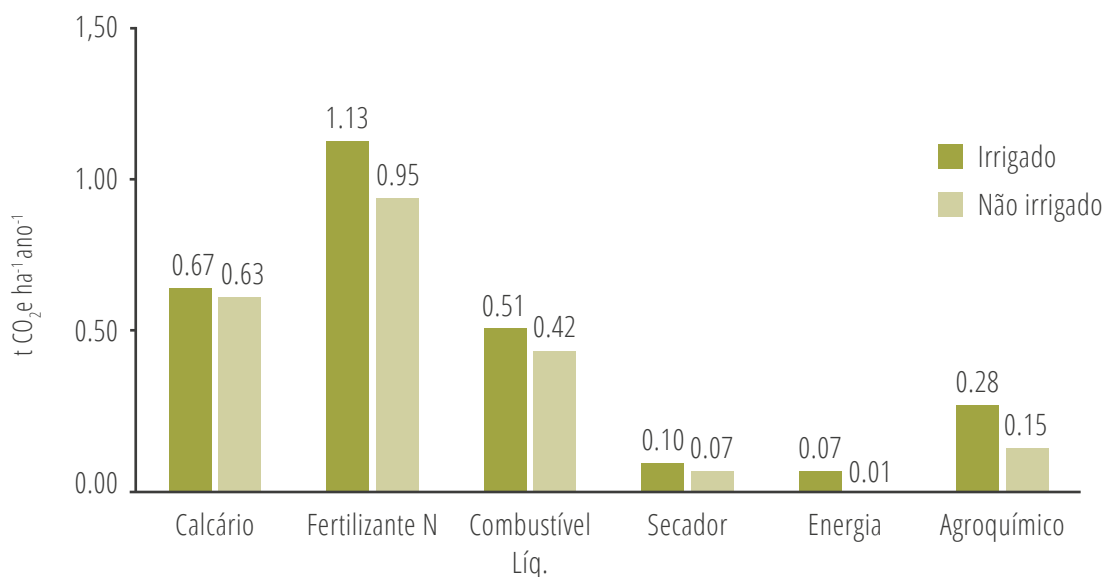
Figura 5. Distribuição das fontes emissoras nas fazendas cafejeiras com boas práticas e tradicional



C. IRRIGAÇÃO

A comparação entre as fazendas com sistema irrigado e não irrigadas, sequeiro, restringiu-se as 8 propriedades comparáveis, localizadas no Sul de Minas e no Cerrado. As áreas irrigadas possuem maiores emissões (2,76 t CO₂ ha⁻¹) em relação às não irrigadas (2,23 t CO₂ ha⁻¹) (Fig. 6). As fazendas não irrigadas, utilizam em sua maioria, adubos com menores emissões em relação à ureia, como nitrato e sulfato. O volume das entradas de insumo nas lavouras irrigadas é maior devido à maior produtividade dessas lavouras (45 sc ha⁻¹) em relação as não irrigadas (38,5 sc ha⁻¹).

Figura 6. Distribuição relativa das fontes emissoras nas fazendas cafeeiras irrigadas e não irrigadas



3.2.3 COMPARAÇÃO DAS EMISSÕES COM OUTROS TRABALHOS

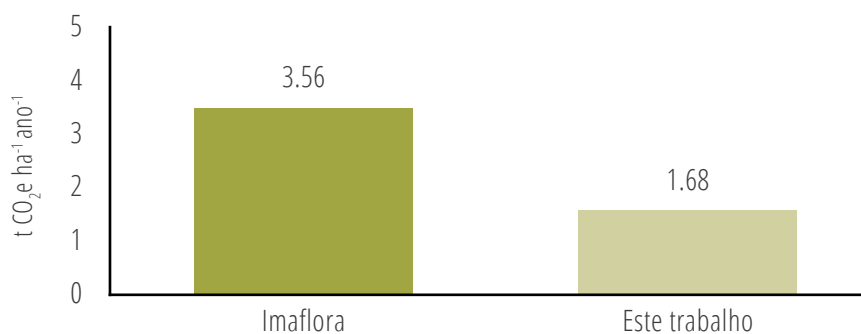
Para compararmos com outros países e estudos, foram retirados os valores oriundos do secador (0,06 t CO₂ ha⁻¹) dos valores totais (1,74 t CO₂ ha⁻¹). Isto é, apenas os dados das emissões até a colheita foram considerados, resultando em uma emissão média de +1,68 t CO₂ ha⁻¹. Desta forma esse valor ficou comparável a outros estudos internacionais que, em sua maioria, finalizam na estimativa até a colheita.

Ao compararmos com as fazendas utilizadas no estudo em relações a outras fazendas de café arábica do Brasil estudados pelo Imaflora, podemos identificar que possuem uma média de emissões inferior, metade das emissões médias de outras fazendas estudadas (Figura 7). Entretanto ressalta-se que este trabalho foi realizado em diversas regiões que possuem

baixa mecanização e menores aplicações de insumo, enquanto a média Imaflora, são de fazendas mecanizadas, com maior aplicação de insumos.

Outros estudos que também estimaram as emissões chegam a valores nove a vinte vezes maiores que os da média do estudo. Hergoualc'h *et al.* (2008) em um estudo na Costa Rica, estimou emissões de 9,9 t CO₂e ha⁻¹ ano⁻¹. Poore *et al.* (2018) em um estudo publicado na Science estimando emissões globais da cultura do café, obteve 21,4 t CO₂e ha⁻¹ ano⁻¹. Ambos os estudos são em regiões de baixa intensificação, com a produtividades médias em torno de uma tonelada por hectare, a metade da produção média das fazendas neste estudo. Ressalta-se que é necessário ter cautela com as comparações dos dados obtido neste estudo com os dados da literatura, afinal as metodologias utilizadas para o levantamento dos dados de emissão são distintas em cada um dos trabalhos.

Figura 7. Comparação das emissões deste trabalho com outras fazendas





MENSURAÇÕES DO SEQUESTRO DE CARBONO NO SOLO E NA PLANTA

■ 4.1 INTRODUÇÃO

O café desempenha um papel importante como fonte de renda de milhões de agricultores em todo o mundo, incluindo o Brasil. Nos últimos anos intensificou-se o debate acerca das emissões de gases do efeito estufa (GEE) pelo setor agrícola brasileiro, bem como, estratégias que visem a redução desses gases em áreas de cultivo agrícola como é o caso de áreas de cultivo de café. Por outro lado, sabe-se que o sequestro de carbono na planta e no solo são estratégias eficazes para mitigar o aumento da concentração de GEE na atmosfera, principalmente do dióxido de carbono (CO₂) (Paustian et al. 2016; Cotrufo *et al.* 2019).

O solo desempenha um papel importante como regulador das emissões de CO₂ para a atmosfera, onde estima-se que em torno de 1500-2000 Pg de C são armazenados no primeiro metro de profundidade (1Pg de C é igual a 109 t) (Jobbagy e Jackson, 2000). Nos ecossistemas terrestres em escala global, o solo se destaca como maior reservatório de C, com aproximadamente 4 vezes mais carbono do que encontrado na vegetação e 3 vezes mais do que o C contido na atmosfera (Lal, 2014).

Apesar do reservatório de C na vegetação ser menor em relação ao do solo, esse compartimento não deve ser desconsiderado nos inventários sobre o potencial de acúmulo de C em sistemas agrícolas. No caso do cafeeiro, por ser uma espécie lenhosa e que permanece por longos períodos no campo, pode ser considerada como uma interessante opção de cultura agrícola para acumular carbono (Cotta *et al.*, 2008). No entanto, o potencial de acúmulo de C em ambos os reservatórios (solo e vegetação) são suscetíveis a diferentes fatores que podem limitar ou incrementar os estoques de C sob o cultivo de café. Entre os principais fatores que interferem nesse processo destacam-se as condições de manejo, em que a forma de cultivo, tratamentos culturais e nível de mecanização, podem ser fatores preponderantes na alteração da dinâmica de acúmulo de C no solo e nas plantas. Pelo exposto, o presente estudo teve como escopo quantificar os estoques de C do solo e da planta em áreas de cultivo de café sob a transição da condição de manejo para boas práticas. Para atender a esse objetivo, amostras de solo e de planta foram coletadas em oito fazendas produtoras de café nas regiões de Sul de Minas, Cerrado Mineiro e Matas de Minas no estado de Minas Gerais.

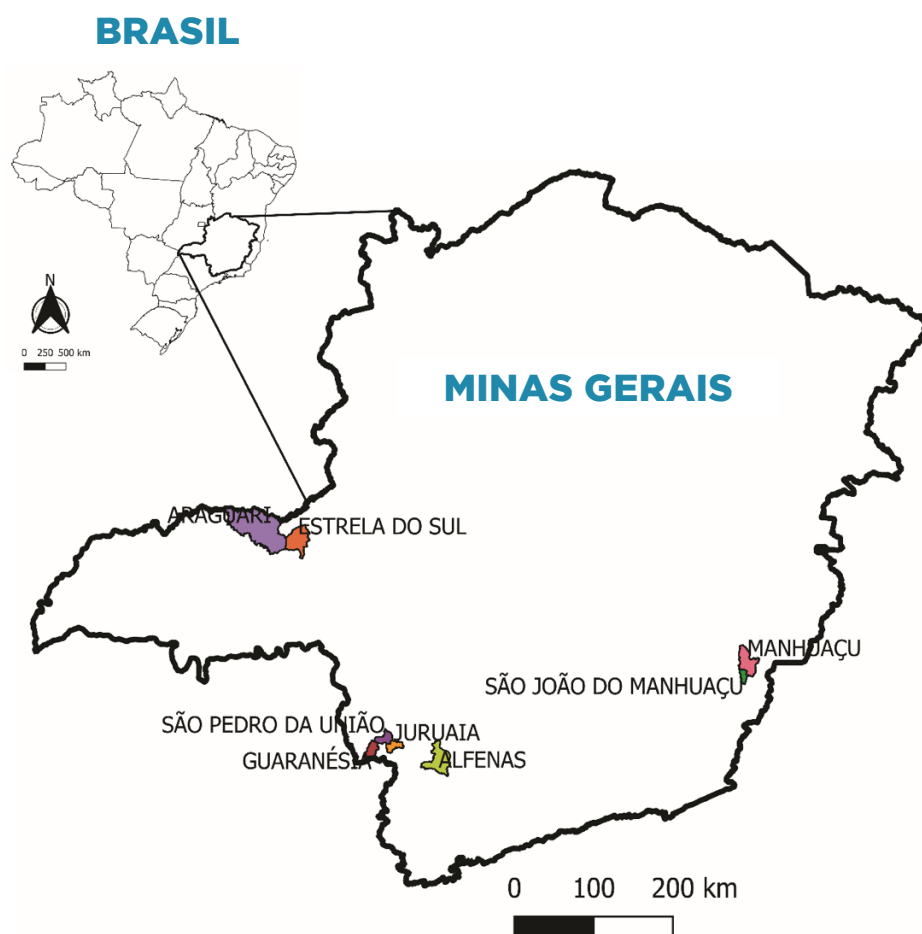
■ 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os procedimentos adotados neste estudo para avaliação do carbono no solo e planta seguiram as recomendações do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) e ISO (International Organization for Standardization).

■ 4.1.1 DESCRIÇÃO DAS ÁREAS

As coletas de solo e planta para a quantificação dos estoques de foram realizadas durante o período de 16/11/2021 à 23/12/2021. Foram selecionadas oito fazendas com manejos contrastantes (boas práticas e tradicional), localizadas nas três principais regiões produtoras (Figura 8).

Figura 8. Mapa representativo dos municípios que se localiza as fazendas selecionadas para a coleta de das amostras

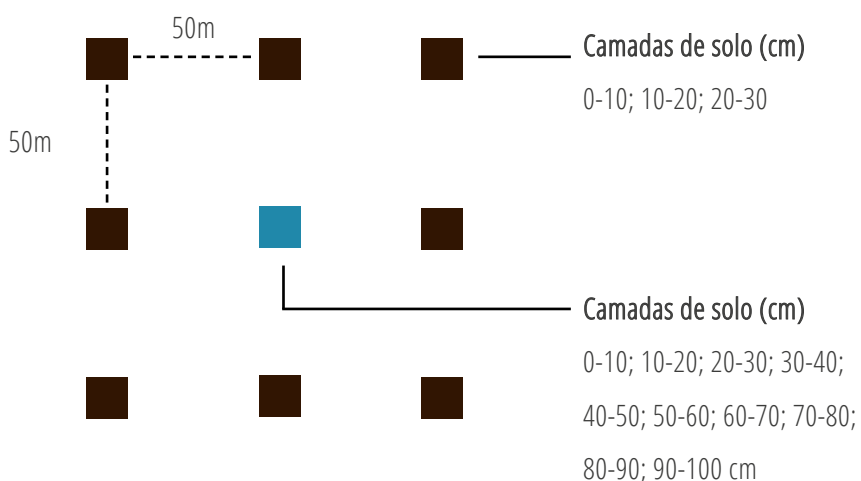


■ 4.1.2 COLETA DE SOLO

As coletas foram distribuídas em um esquema de grade composta por nove pontos e distância de 50m entre eles. No ponto central foi aberta uma trincheira para coletar amostras indeformadas. A coleta foi feita por meio de uma sonda acoplada a um anel volumétrico de Kopeck para determinar a densidade do solo nos 100 cm de profundidade, mensurando a cada 10 cm. Nos demais

oito pontos, foram coletadas três amostras deformadas, a cada 10cm de profundidade até 30cm. No total, foram coletadas 34 amostras deformadas para determinação dos teores de carbono do solo e 10 amostras indeformadas para a determinação da densidade do solo em cada local (informação requerida no cálculo dos estoques de carbono do solo) (Figura 9).

Figura 9. Esquema de amostragem de solo, em que o quadrado preenchido representa a trincheira com amostragem indeformadas até 1cm e os vazios as tradagens para amostras de formas de até 30 cm de profundidade



■ 4.1.3 AMOSTRAGEM DE PLANTA

Com o objetivo de quantificar a biomassa acima e abaixo do solo, foram retiradas 8 plantas inteiras contemplando as 3 principais regiões produtoras de café. O compartimento aéreo (biomassa da parte aérea) foi dividido em galho, tronco, folhas e liteira, enquanto o compartimento radicular (biomassa da parte abaixo do solo) foi dividido em raiz grossa e raiz fina.

■ 4.1.4 DENSIDADE DO SOLO

Para a determinação da densidade aparente (DP) do solo, amostras de solo foram coletadas com o auxílio de uma sonda, acoplada a um anel de Kopeck com volume conhecido (Figura 10, Anexo 1). A determinação de DP foi realizada para que seja possível o cálculo dos estoques de C do solo.

Figura 10. Processo de amostragem de solo e planta



■ 4.1.5 ESTOQUES DE C

Para se efetuar os cálculos dos estoques de C no solo da planta, anteriormente deve-se obter os teores de C (%) nas amostras de solo coletadas à campo. Para isso, o C total do solo foi avaliado em amostras de solo seco, moídas e

peneiradas em malha 100 mesh (0,150mm). O C da planta foi obtido através da biomassa vegetal amostrada diretamente em condições de campo, via amostragem destrutiva. Os teores de C do solo e da planta foram determinados pelo método da combustão via seca, por meio de um analisador elementar da marca Leco, St. Joseph, MI, EUA) (Figura 11).

Figura 11. Preparo da amostra coletadas à campo para determinação dos teores de C



Os estoques de C do solo (Mg ha^{-1}) foram calculados multiplicando-se o C total (%) pela DP (g cm^{-3}) e pela camada de solo avaliada (cm). Para comparar os estoques de C entre os tratamentos foi realizado ajuste da profundidade do solo com base no local de referência (Ellert e Bettany, 1995). Desta forma, cada áreas foi realizado uma coleta para representar a mesma massa de solo em todos os tratamentos e corrigir a massa de solo. A camada que representa a mesma massa do solo também é usada para determinar os estoques de C do solo (Eq. 1).

$$\text{Camada equivalente} = \left(\frac{BP_{MT}}{BP_{(BP)}} \right) \times PR \quad (\text{Eq.1})$$

Sendo: camada equivalente é a nova profundidade encontrada em um local específico (cm), DPMT é o DP do solo da área sob a condição de manejo tradicional (em g cm^{-3}), DPBP é o DP do solo da área com sob a condição de boas práticas de manejo (g cm^{-3}), e PR é a profundidade de referência (cm).

Para o cálculo do estoque de C na planta, foi efetuada a multiplicação do teor de C em cada compartimento vegetal avaliado pela quantidade de matéria seca dos respectivos compartimentos vegetais (isto é, galho, folhas, troncos, raízes finas, raízes grossas e serapilheira).

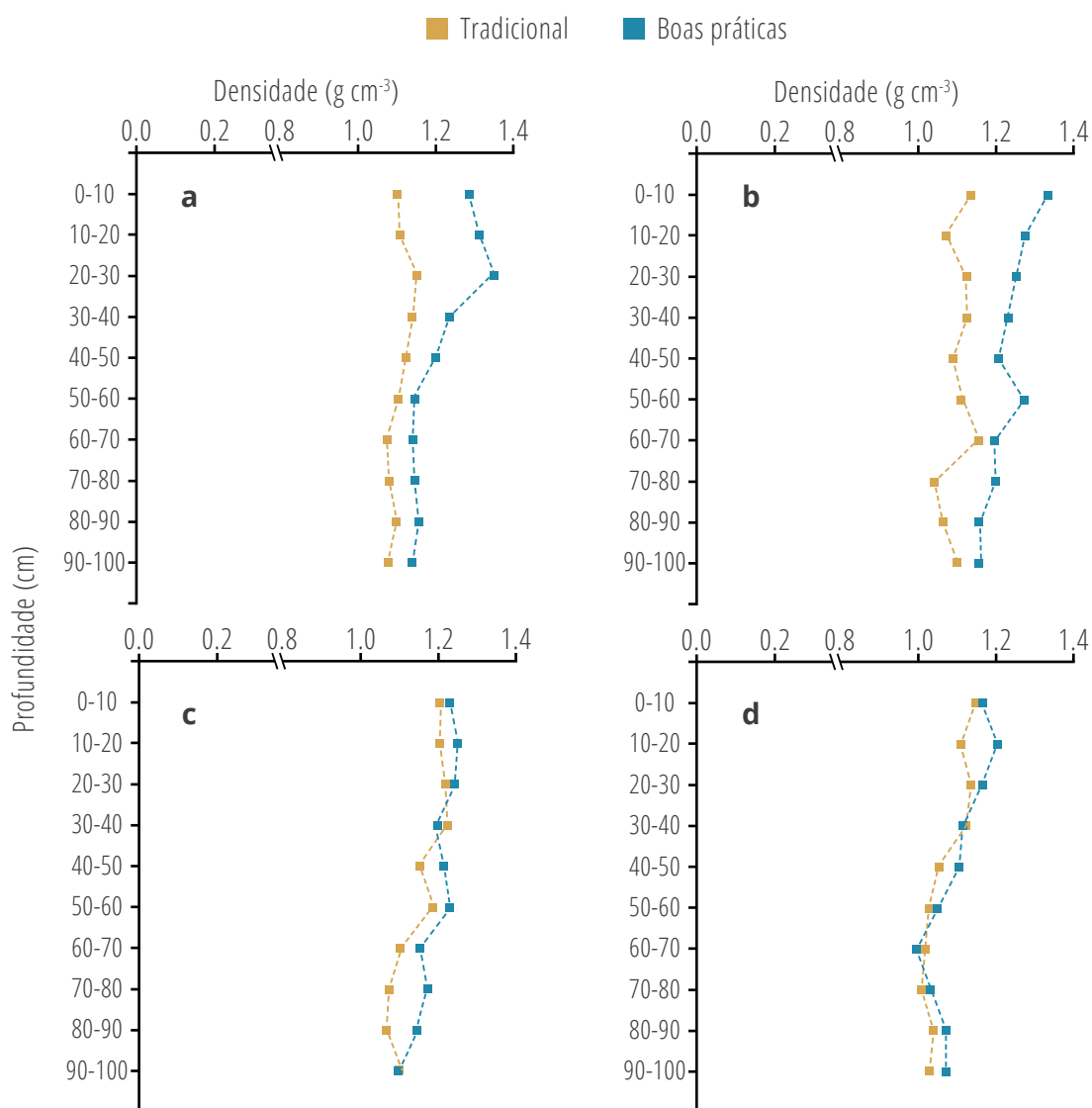
4.1.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados finais dos estoques de C do solo foram submetidos inicialmente ao teste de normalidade, onde a existência de tendência central (normalidade) dos dados originais foi verificada por meio do teste W ($p < 0,05$), onde dados com valor de $p < 0,05$ foram considerados de distribuição normal. Posteriormente, realizou-se a análise de variância (ANOVA) sob um esquema de delineamento inteiramente casualizado, considerando os dois tratamentos (condição de manejo tradicional e boas práticas) e as oito repetições (trincheira central e tradagens). O teste de Tukey ($p < 0,05$) foi utilizado para comparar as médias dos diferentes tratamentos e para cada camada de solo. Todas as análises foram realizadas com o software Statistical Analysis System - SAS v.9.3 (SAS Inc., Cary, EUA).

4.2 RESULTADOS

Com base na Figura 11, observa-se que a transição da condição de manejo tradicional para boas práticas não influenciou de forma significativa os valores da DP. Em geral, considerando todos os locais de estudo, os valores da DP sob condição de manejo com boas práticas foram 7% maiores em comparação com a condição de manejo tradicional. Considerando esse efeito, os maiores e menores incrementos foram observados nas fazendas Sul de Minas 1 ($>11\%$) e Matas de Minas ($>3\%$), respectivamente, sendo ambos esses grupos de fazendas manejadas em cultivo semimecanizado.

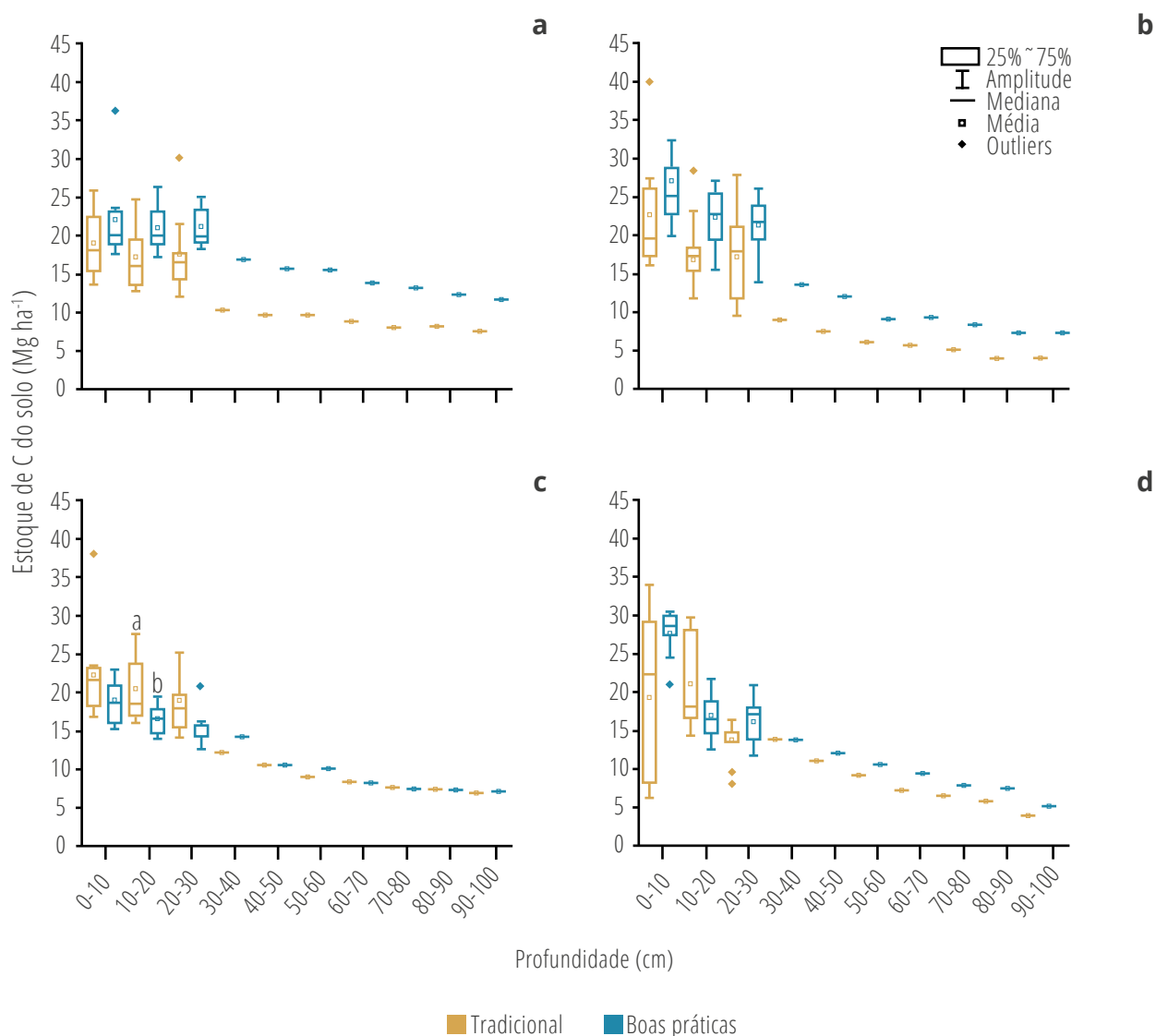
Figura 12. Valores de DP das amostras de solo sob condições de manejo tradicional e boas práticas de Sul Minas Gerais 1 (a), Sul Minas Gerais 2 (b), Cerrado (c) Matas de Minas (d).H



Com relação aos estoques de C do solo, observou-se que a transição da condição de manejo tradicional para boas práticas proporcionou incrementos nos estoques C do solo na maioria dos locais de estudo (Figura 12). A exceção foi nas fazendas do Cerrado, onde em praticamente todas as profundidades avaliadas houve redução dos estoques de C do solo, apenas nas camadas de 30-40 (>17%),

50-60 (>13%) e 90-100 (>4%) cm verificou-se incrementos. Os maiores efeitos da transição do manejo tradicional para boas práticas foram verificados nas fazendas Sul de Minas 2 e Sul de Minas 1, onde em média possibilitou incrementos de 15, 23, 21, 57, 62, 56, 61, 66, 69 e 69% nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90, 90-100 cm, respectivamente.

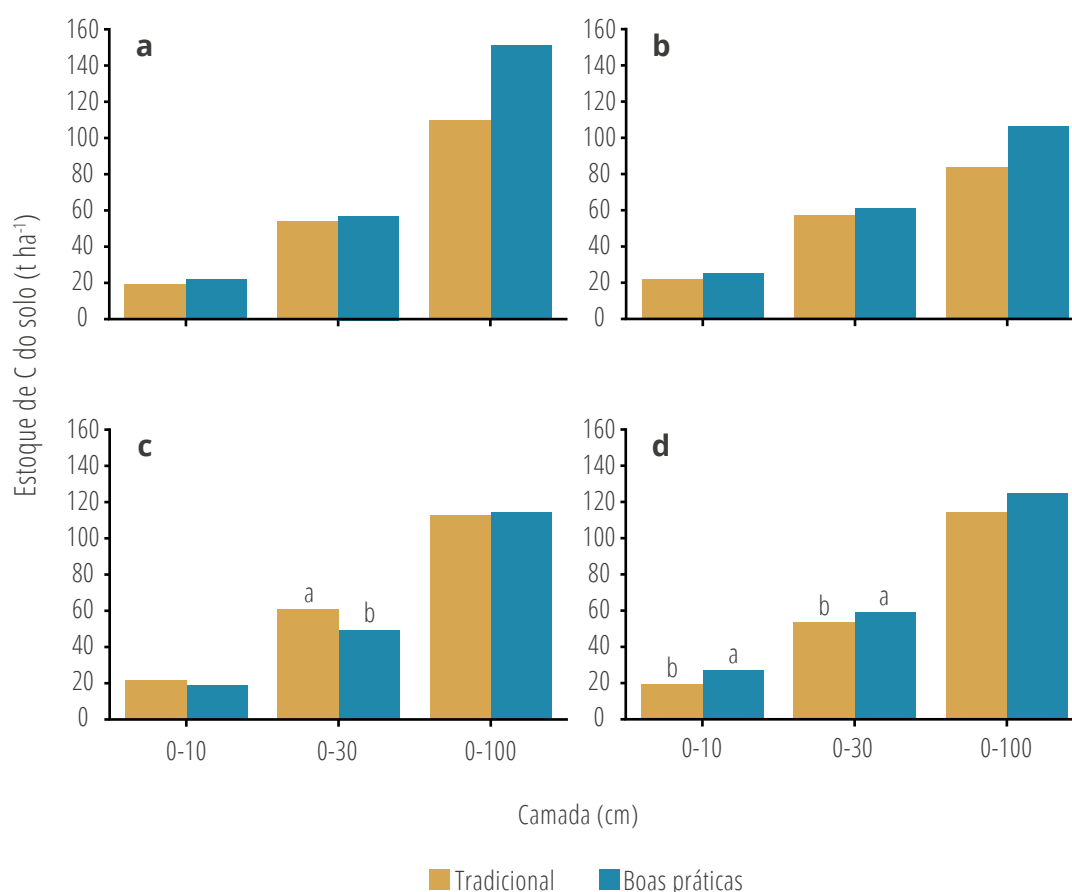
Figura 13. Estoques de C do solo ao longo da profundidade sob condições de manejo tradicional e boas práticas. Em que A: Sul de Minas 1, B: Sul de Minas 2, C: Cerrado 3, D: Matas de Minas. As letras indicam médias estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a 5% ($p < 0,05$) em cada camada de referência



Em adição à análise do efeito das condições de manejo tradicional e boas práticas para cada profundidade de avaliação, é importante também verificar o efeito das condições de manejo nas camadas de 0-10, 0-30 e 0-100 cm. Isso decorre do fato de que importantes iniciativas internacionais recomendam a avaliação dessas camadas para inventariar os estoques de C do solo devido as mudanças de manejo no uso agrícola (ex. IPCC, FAO, ISSO, iniciativa '4 per 1000', Living Soils of the America etc). Mediante aos resultados

obtidos para as diferentes camadas, constatou-se que apenas para as fazendas do Cerrado houve reduções nos estoques de C do solo com transição do manejo tradicional para boas práticas (Figura 13). Esse efeito foi verificado principalmente nas camadas de 0-10 cm e 0-30 cm, sendo que as reduções nos estoques de C do solo foram na ordem de 4 (<16%) e 12 (<19%) Mg ha⁻¹, respectivamente. Cabe destacar que não foi possível observar um efeito claro sobre os níveis de mecanização nos estoques de C do solo.

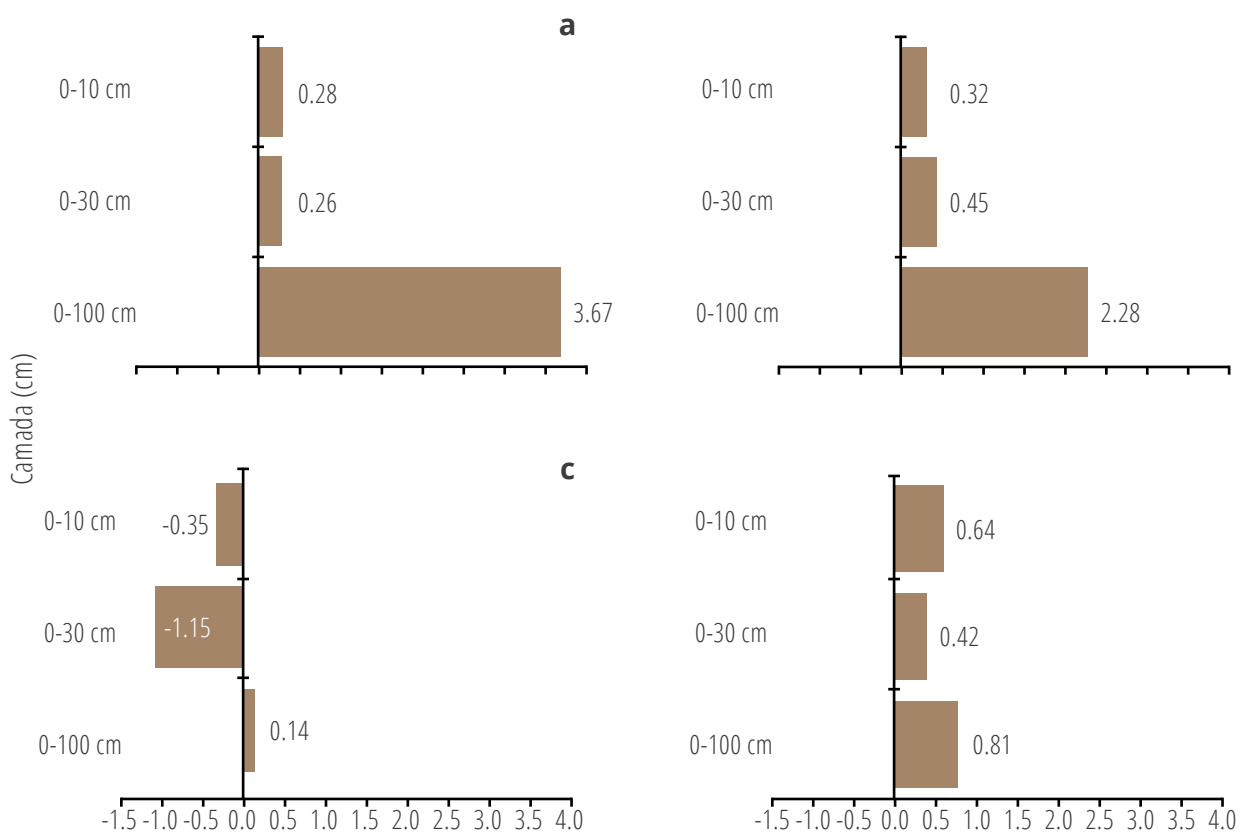
Figura 14. Estoques de C do solo sob condições de manejo tradicional e boas práticas), considerando a variação nas camadas de 0-10, 0-30 e 0-100 cm. Em que A: Sul de Minas 1, B: Sul de Minas 2, C: Cerrado 3, D: Matas de Minas. As letras indicam médias estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a 5% ($p < 0,05$) em cada camada de referência.



Nas fazendas Matas de Minas foram observados os efeitos mais significativos da transição do manejo tradicional para boas práticas, onde incrementos de 8 (>44%), 5 (>10%) e 11 (>9%) t ha⁻¹ foram observados nas camadas de 0-10, 0-30 e 0-100 cm, respectivamente. Da mesma forma, as fazendas Sul de Minas 2 e Sul de Minas 1 também apresentaram efeitos positivos e semelhantes entre ambos quanto ao acúmulo de C do solo. Para as duas fazendas os incrementos médios nas camadas de 0-10, 0-30 e 0-100 cm foram de 3 (>15%), 4 (>7%) e 32 (>32%) t ha⁻¹, respectivamente.

O efeito positivo da transição do manejo tradicional para boas práticas, também foi verificado quando foram calculadas as taxas de acúmulo de C do solo para as diferentes fazendas avaliadas (Figuras 14). As maiores taxas de acúmulo de C do solo foram obtidas nas fazendas e Sul de Minas 1 e Sul de Minas 2, onde em média para as mencionadas fazendas os valores foram de 0,30, 0,36 e 2,98 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ para as camadas de 0-10, 0-30 e 0-100 cm, respectivamente. A única exceção foi para as fazendas do Cerrado, onde da transição do manejo tradicional para boas práticas reduziu as taxas de acúmulo de C do solo nas camadas e 0-30 cm para -0,35 e -1,15 t ha⁻¹ ano⁻¹; apenas na camada de 0-100 cm houve efeito positivo da transição do manejo tradicional para boas práticas nessas fazendas (0,14 t ha⁻¹ ano⁻¹).

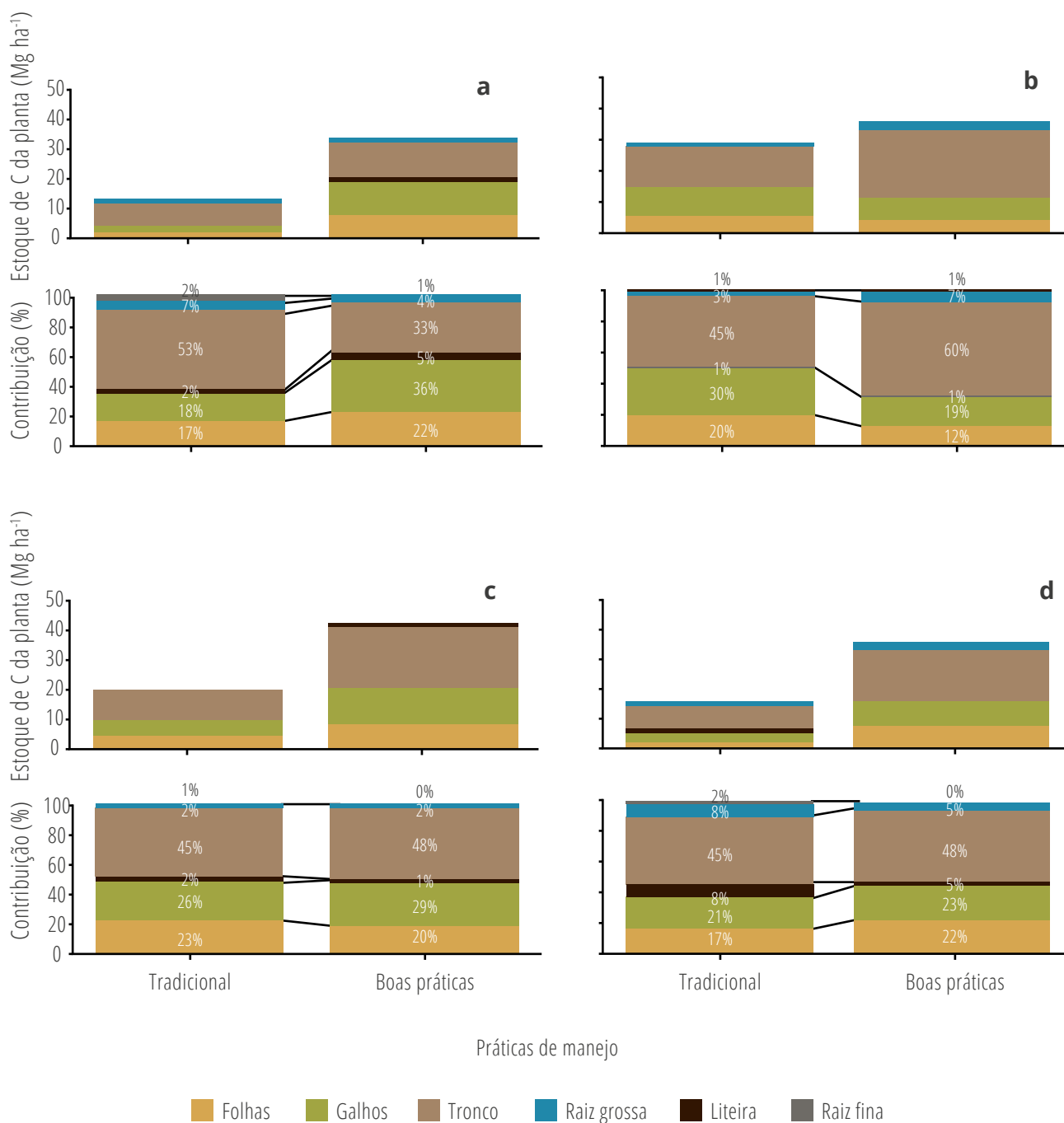
Figura 15. Taxas de acúmulo de C do solo devido a transição do manejo tradicional para boas práticas na cultura do cafeeiro para as fazendas. Em que A: Sul de Minas 1, B: Sul de Minas 2, C: Cerrado 3, D: Matas de Minas



A transição da condição de manejo tradicional para boas práticas também alterou significativamente os estoques de C das plantas de café em praticamente todas as fazendas avaliadas (Figura 15). Entre os diferentes componentes da planta, o tronco e as raízes grossas foram os que apresentaram os incrementos mais significativos, sendo que para os o tronco os incrementos foram de 4 (> 57%), 8 (> 64%), 11 (> 125%) e 10 (> 137%) t ha⁻¹, para as fazendas Sul de Minas 2, Sul de Minas 1, Cerrado e Matas de Minas, respectivamente.

No caso das raízes grossas os incrementos foram de 0,22 (> 24%), 2 (> 168%), 0,41 (> 123%) e 0,49 (> 39%), t ha⁻¹, respectivamente. Ademais, assim como para os estoques de C do solo, cabe destacar que para os estoques de C da planta não foi possível observar um efeito claro sobre os níveis de tecnificação (mecanizado e semimecanizado).

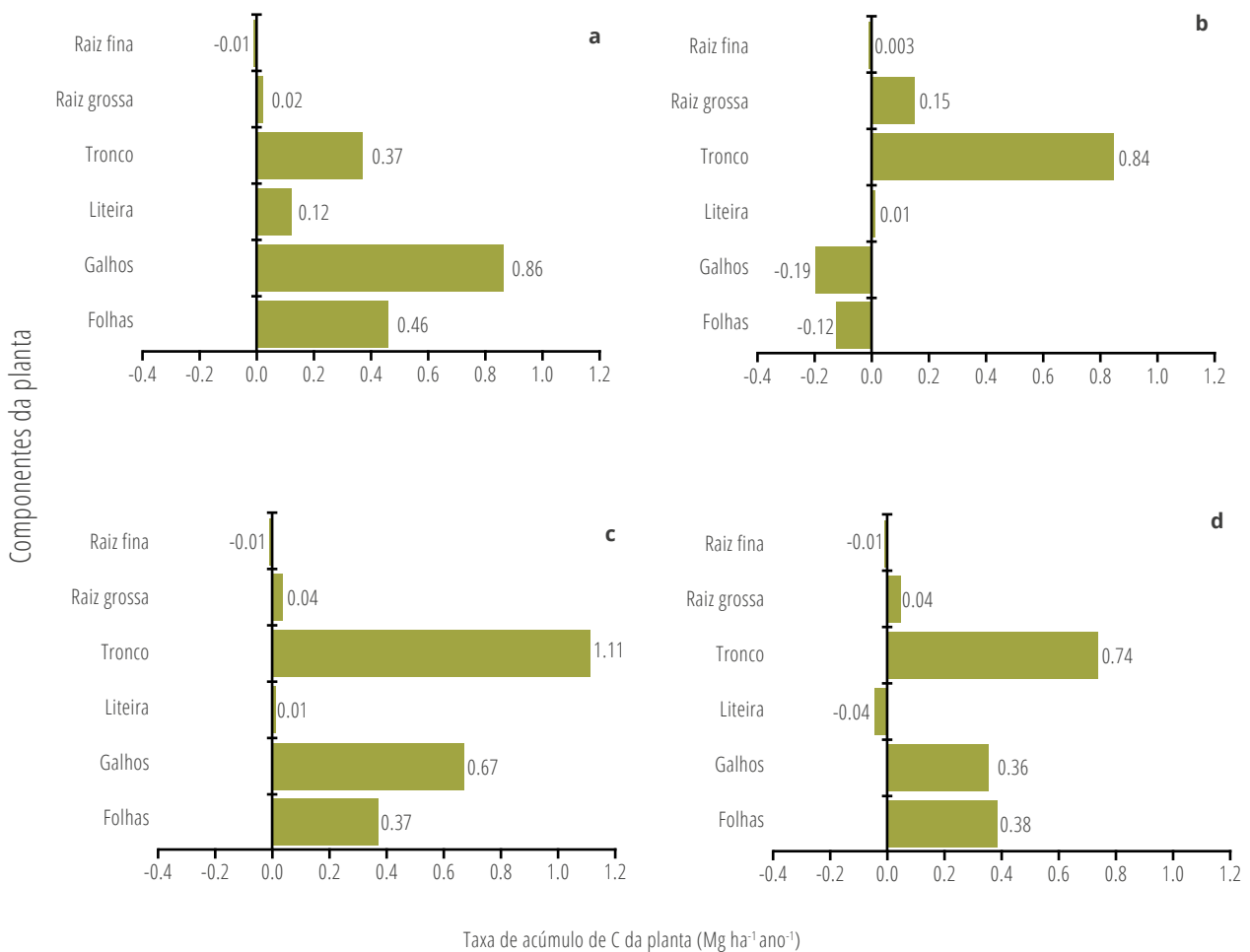
Figura 16. Estoques (a) e contribuição (b) de C da planta sob condições de manejo tradicional e boas práticas. Em que A: Sul de Minas 1, B: Sul de Minas 2, C: Cerrado 3, D: Matas de Minas



Adicionalmente, o tronco, galhos e folhas foram os componentes que apresentaram as maiores contribuição no estoque total de C na planta, com média de 42%, 25% e 19%, respectivamente. Contudo, quando se analisa os efeitos da transição do manejo tradicional para boas práticas, verificou-se que a contribuição desses componentes variou para cada fazenda. No caso do tronco os maiores efeitos da transição de manejo foram verificados para as fazendas Sul de Minas 1, Cerrado e Matas de Minas. Para os galhos e folhas, os maiores incrementos foram verificados para as fazendas Sul de Minas 2 e Matas de Minas.

A partir das taxas de acúmulo de C da planta nas diferentes fazendas avaliadas, observou-se que o efeito da transição do manejo tradicional para boas práticas foi variável quando se analisa os estoques de C nos diferentes componentes da planta de café. Conforme pode-se observar nas Figuras 16, apenas o tronco e as raízes grossas apresentaram taxas de acúmulo de C da planta positivas em todas as fazendas. Nesse caso, as taxas de acúmulo de C da planta variaram de 0,02 a 0,15 t ha⁻¹ ano⁻¹ para o tronco e de 0,37 a 1,11 t ha⁻¹ ano⁻¹ para as raízes grossas.

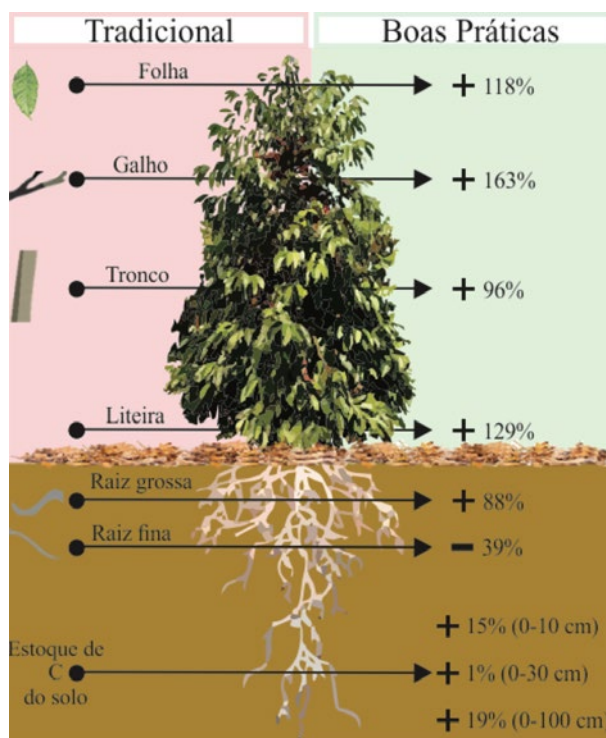
Figura 17. Taxas de acúmulo de C da planta devido a transição do manejo tradicional para boas práticas na cultura do cafeeiro em que A: Sul de Minas 1, B: Sul de Minas 2, C: Cerrado 3, D: Matas de Minas



Na Figura 18 estão representados os valores das médias gerais (considerando todas os locais de estudo) dos incrementos nos estoques de C do solo e da planta devido a transição do manejo tradicional para boas práticas na cultura do cafeeiro. Os incrementos nos estoques de C do solo variaram entre

1% a 19% nas camadas de 0-10, 0-30 e 0-100 cm. Já para os estoques de C na planta, os incrementos foram maiores, variando de 96% a 129% para as folhas, galhos, tronco, liteira e raízes grossas.

Figura 18. Representação geral das mudanças nos estoques de C do solo e da planta com a transição da condição de manejo tradicional para boas práticas.



Em geral, a única exceção foi para as raízes finas em que a transição de manejo representou um decréscimo de 39% nos estoques de C na planta. Esse resultado pode estar relacionado ao "turn over" muito rápido (morte e regeneração) das raízes finas (Carducci *et al.*, 2014). No caso do presente estudo, devido ao incremento da biomassa aérea e, por conseguinte nos estoques de C da planta, há um aumento nas taxas morte de raízes finas na busca do equilíbrio com a parte aérea (Motta *et al.*, 2006). Essa hipótese pode ser constatada pelo incremento nos estoques de C nas raízes grossas da planta.

4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos no presente estudo, constatou-se que a transição da condição de manejo tradicional para boas práticas na cultura do café provou ser uma estratégia eficiente para incrementar os estoques de C (>1% a 19%) do solo e na planta (>96% a 129%). Entre os diferentes

locais avaliados no estado de Minas Gerais, nas fazendas do agrupamento 1 e 2 foram encontrados os melhores resultados quanto os estoques de C do solo e na planta.

Em termos gerais, observou-se que os incrementos significativos foram nos estoques de C da parte aérea, quando em comparação com os estoques de C do solo. Uma possível hipótese para esse efeito pode ser devido a maior e rápida resposta ao manejo da parte aérea da planta em termos de quantidade de biomassa produzida, o que reflete nos maiores estoques de C acumulados nos diferentes componentes da planta, principalmente no tronco e nas raízes grossas. Nesse caso, apesar dos incrementos encontrados nos estoques de C do solo, a resposta desse compartimento às mudanças de manejo é mais lenta. Contudo, espera-se que com a continuidade da adoção de boas práticas de manejo por longos períodos, os incrementos nos estoques de C do solo podem se equiparar aos valores encontrados nos componentes da parte aérea da planta.



BALANÇO DE CARBONO

O balanço de GEE do sistema de produção, consiste na somatória das emissões e remoções de GEE do sistema em análise. Na cafeicultura, o balanço de GEE em escala de fazenda (da porteira para dentro) envolve a soma das emissões de GEE (pela aplicação de insumos utilizados em campo), subtraída pelo sequestro de carbono. Deste trabalho fizemos o balanço de Carbono da cafeicultura tradicional e da cafeicultura com boas práticas.

Balanço de C da cafeicultura tradicional

Para o balanço das fazendas tradicionais foi considerado as emissões de GEE e o estoque de carbono acumulado nas plantas de café. Isto é, não foi considerado as remoções oriundas do solo. Isto ocorre, pois o solo é reservatório de carbono, e para isolar o fator de acúmulo devido à cultura deve-se utilizar coletas em períodos sucessivos ou por métodos de consequência, para gerar esta taxa de acúmulo. Apesar de importante, não foi o objetivo do trabalho restringindo ao estoque da parte aérea.

Balanço de GEE = Emissões (calcário, fertilizantes nitrogenados, agroquímicos, combustível, energia) – Remoções (C estocada na planta (raiz, parte aérea)

Para estimar o valor de sequestro da planta de café foi utilizado o modelo de crescimento do cafeeiro em relação a produtividade por planta (Souza 2018). Para os cálculos considerou-se a produtividade média e densidade das fazendas CecaFé de 34 sc ha⁻¹ e 3500 plantas ha⁻¹, uma taxa de conversão de 1 kg café verde igual 8,36 litros café da roça e média de 50% de C na matéria seca de planta. O resultado obtido foi de um sequestro de 3,40 t CO₂e ha⁻¹ nos cafezais.

Ao analisarmos o balanço de C nestas regiões estudadas, estimamos que a cafeicultura tradicional, sequestra em torno de -1,63 t CO₂ ha⁻¹ ano⁻¹, isto é, possui um balanço de C negativo, contribuindo para a mitigação dos efeitos do clima. Este valor foi estimado considerando as emissões totais (+1,77 t CO₂e ha⁻¹ ano⁻¹) e os sequestros relativos à biomassa da planta (-3,40 t CO₂ ha⁻¹ ano⁻¹). Isto é, o café brasileiro, sequestra mais carbono que emite.

Balanço de C da cafeicultura devido às boas práticas

O balanço das fazendas devido à adicionalidade, se baseia na comparação entre fazendas com boas práticas e tradicionais. Por serem fazendas passíveis de comparação (i.e., com solos similares, mesma variedade e idade das plantas) foi realizado uma taxa de acúmulo isolando o fator dos manejos, foco central deste estudo. Assim, neste balanço foi considerado as emissões, as remoções da biomassa da planta e do solo.

Balanço de GEE = Emissões (calcário, fertilizantes nitrogenados, agroquímicos, combustível, energia) – Remoções (C estocada na planta (raiz, parte aérea) e no solo)

Segundo o artigo 6º do Acordo de Paris (UNFCC, 2016), os mecanismos de contribuição para mitigação dos efeitos do clima são baseados na “adicionalidade”. Este conceito, é considerado chave para a formação de políticas públicas e incentivos climáticos, como por exemplo a venda de café neutro. (Michaelowa *et al.* 2019).

Portanto, estimamos que a cafeicultura sob boas práticas de manejo agrícola apresenta balanço de -10,5 tCO₂ ha⁻¹ ano⁻¹.

Este valor foi obtido por meio da subtração das emissões devido às boas práticas (+1,74 t CO₂ ha⁻¹ ano⁻¹) e os sequestros de carbono (- 12,2 t CO₂ ha⁻¹ano⁻¹ oriundos do solo e da planta). É importante ressaltar que este valor leva em consideração o estoque de carbono da planta e do solo até 1 metro de profundidade. Ao considerarmos a média de produtividade de 2 toneladas de café verde por hectare (i.e.: 34,6 sacas por hectare) obtemos um balanço médio de -3.79 t CO₂ por t de café verde.

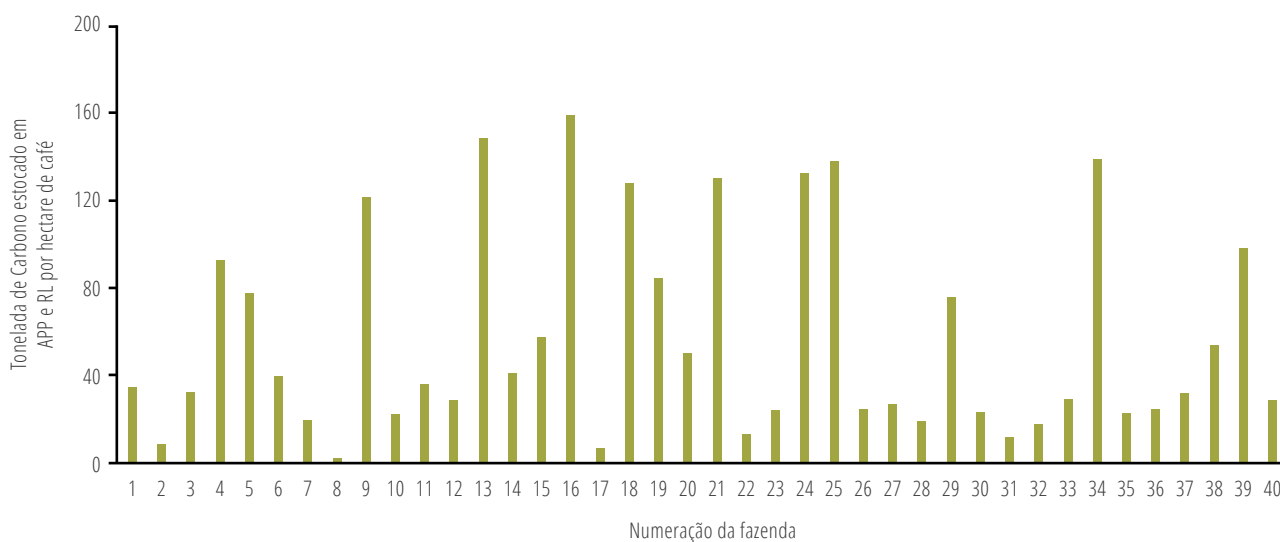
Estimativa de Carbono estocado em áreas verdes

No Brasil, devido a Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Lei n. 12.651/2012) os imóveis rurais precisam destinar ao menos 20% da área para a preservação da floresta nativa podendo ser maior de acordo com o bioma em que a fazenda se localiza. Esta área é chamada de Reserva Legal (RL). Além disso, algumas áreas são áreas de preservação permanente (APP) que é uma área com função ambiental de proteção dos recursos ao seu entorno como, recursos hídricos, áreas proximidade a rios e nascentes, topo de morro etc.

Para calcular o estoque de carbono dessas áreas nativas, foram considerados apenas áreas verdes (APP e RL) que estavam em bom estado de conservação. Os cálculos de estoque foram estimados por meio do valor da área disponível e estoques de C por bioma (SEEG 2021).

A distribuição média destas florestas preservadas é de 65% de RL e 35% em APP. Ao converter essas áreas para estoque de carbono, temos em média que a cada hectare de café cultivado, há 50 t C estocado na forma de floresta. Estes valores de estoque não são considerados nos sequestros da cultura. Entretanto trata-se de um diferencial da cafeicultura nacional em relação as demais países, contribuindo ainda mais para uma cafeicultura sustentável.

Figura 19. Distribuição de área verde por fazenda em relação a área de cultivo de café





CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estimou-se que entre as principais fontes emissoras estão o uso de adubos nitrogenados (42%), seguido de calcário (28%), combustíveis líquidos, como diesel e gasolina (17%) e agroquímicos (8%).

A estimativa do balanço de C total apresenta um valor negativo de $-1,63 \text{ t CO}_2\text{e}$ para a cultura do café, mesmo que cultivada de forma tradicional.

Já em relação ao balanço de carbono do café cultivo sob atividades de boas práticas, essas fazendas acumulam $-10,5 \text{ tCO}_2\text{e ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Isto é, boas práticas foram eficientes para incrementar de forma expressiva os estoques de C em relação às práticas convencionais.

Complementarmente, as fazendas do Brasil possuem áreas de preservação, possuindo um estoque de carbono incorporado pela vegetação nativa de em média 50 t de C de área verde por área de café cultivado.

Este trabalho contribuiu para mapear e mensurar as principais fontes de emissão e sequestro de GEE em diferentes regiões, níveis de mecanização, irrigação e sustentabilidade. Trata-se de um pioneirismo na estimativa das emissões e sequestros nas principais zonas produtoras da cafeicultura brasileira.

Ressalta-se que mais pesquisas de campo ainda são necessárias, principalmente nas mensurações em campo para o melhor ajuste dos cálculos de estimativa como por exemplo: **(i)** volatilização de NH_3 nas aplicações na cultura, **(ii)** uso de manejos consorciados com culturas perenes, **(iii)** uso de novas tecnologias de insumos aplicados neste sistema de produção (e.g: ureia protegida e/ou com liberação lenta, controlada).

Esta iniciativa da CECAFÉ é um importante passo para o entendimento do potencial da cafeicultura brasileira sustentável, alinhado a estratégia mundial, direcionando a produção para práticas sustentáveis rumo à uma agricultura de baixo carbono.



RECOMENDAÇÕES PARA ATINGIR MENORES EMISSÕES DE GEE

Com objetivo de auxiliar práticas visando reduções de emissões de GEE da produção cafeeira seguem algumas recomendações a partir dos resultados obtidos por esta avaliação:

- Fonte de nitrogênio alternativas. Neste estudo a fonte de N mais utilizada foi a ureia. Apesar de ser um fertilizante de baixo investimento, é uma importante fonte emissora de GEE, tanto N_2O como CO_2 . Nesse sentido, sempre que possível optar por uma adubação cuja aplicação está associada à menores emissões. Os organominerais são excelentes fontes de nutrientes ao solo e estão associados a menores emissões de GEE, tanto via aplicações no solo, como em sua produção;
- O retorno da palha (casca do fruto de café) originada no processamento do café, é uma alternativa para o incremento de carbono no solo. Além disso, pode ser usado para a produção do composto orgânico da fazenda, misturado a fontes nitrogenadas redução do consumo de insumos como fertilizantes potássicos;
- A manutenção dos resíduos culturais provenientes da poda auxilia a manter o solo sempre coberto, aumento do carbono nas camadas superficiais do solo, reduzindo a compactação de máquinas agrícolas, e reduz as perdas de solo e insumos via escoamento superficial. (pode aumentar volatilização, devido ao aumento de umidade do solo);
- Avaliações mais aprofundadas com abrangência de escopo e análises “in loco” são opções de aprimoramento de resultados e tomada de decisões mais assertivas para reduções das emissões de GEE. Isso é verdade principalmente devido a variedade de manejos adotados pelos produtores no Brasil, como o uso de culturas perenes de entrelinha, manejos sistemáticos de poda e fontes de adubo.



REFERÊNCIAS

Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT. Guia metodológico para a realização de inventários em emissões de gases de efeito estufa. Rio de Janeiro, RJ. 2013.

ABNT NBR ISO 14064-1: 2007. Gases de efeito estufa – Parte 1: Especificação e orientação a organizações para quantificação e elaboração de relatórios de emissões e remoções de gases de efeito estufa.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. ANP. Especificação do biodiesel. Disponível em: < <https://www.gov.br/anp> >

BRASIL. Ministério Da Ciência, Tecnologia E Inovações. Fatores de emissão por geração de eletricidade no Sistema Interligado Nacional (SIN). Disponível em < <https://www.gov.br/mcti/pt-br> >

BRASIL. Ministério Da Ciência, Tecnologia E Inovações. Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima / Secretaria de Pesquisa e Formação Científica. – Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2021.

BRASIL. Ministério Da Ciência, Tecnologia E Inovações, 2020. Relatórios de Referência do III Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Disponível em: <http://sirene.mcti.gov.br/publicacoes>

BRAZIL. 2015. The Brazilian Government. Brazilian's Intended Nationally Determined Contribution (INDC). <http://www4.unfccc.int/submissions/INDC/Published%20Documents/Brazil/1/BRAZIL%20INDC%20english%20FINAL.pdf>

Birkenberg, Athena, Manuel Ernesto, Bettina Weinmann, and Regina Birner. 2021. "The Potential of Carbon Neutral Labeling to Engage Coffee Consumers in Climate Change Mitigation." *Journal of Cleaner Production* 278: 123621. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123621>.

Carducci, C.E., Oliveira, G.C., Lima, J.M., Rossoni, D.F., Costa, A.L., Oliveira, L.M., 2014. Distribuição espacial das raízes de cafeeiro e dos poros de dois Latossolos sob manejo conservacionista. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18:270–278.

Cotrufo, F., Ranalli, M.G., Haddix, M.L., Six, J., Lugato, E., 2019. Soil carbon storage informed by particulate and mineral-associated organic matter. *Nature Geoscience*, 12:989–994.

Cotta, M.K., Jacovine, L.A.G., Paiva, H.N., Soares, C.P.B., Virgens Filho, A.C., Valverdes, S.R., 2008. Quantificação de biomassa e geração de certificado de emissões reduzidas no consórcio seringueira-cacau. *Revista Árvore*, 32:969-978.

Cancellier, E. L. Eficiência da uréia estabilizada e de liberação controlada no milho cultivado em solo de fertilidade construída. 2013. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

Davis, Aaron P., Rafael Govaerts, Diane M. Bridson, Piet Stoffelen, Wantuir Filipe Teixeira Chagas, Douglas Ramos Guelfi, André Luiz Carvalho Caputo, et al. 2006. "An Annotated Taxonomic Conspectus of the Genus *Coffea* (Rubiaceae)." *Botanical Journal of the Linnean Society* 152 (4): 465–512. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2006.00584.x>.

SEBRAE(DATASEBRAE) INDICAÇÕES GEOGRÁFICAS BRASILEIRAS (2020). Disponível em:< <https://datasebrae.com.br/indicacoesgeograficas/>>. Acesso em 28/04/2022

Emde D., Hannam K. D., Most, I., Nelson, L. M., Jones, M. D., Soil organic carbon in irrigated agricultural systems: A meta-analysis. *Geoderma*. 115185- 403. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115185>

Eggleston, H. S., L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe, eds. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Kanagawa, Japan: Institute for Global Environmental Strategies. <https://www.ipcc.ch/report/2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>.

Feucht, Yvonne, and Katrin Zander. 2018. "Consumers ' Preferences for Carbon Labels and the Underlying Reasoning . A Mixed Methods Approach in 6 European Countries." *Journal of Cleaner Production* 178: 740–48. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.236>.

Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Agriculture, Forestry and Other Land Use In: EGGLESTON,S., BUENDIA, L., MIWA, K., NGARA, T., TANABE, K (Ed.). Hayama: Intergovernmental Panel on Climate Change / IGES, v.4, 2006.

Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. Available at: <http://ar5-syr.ipcc.ch/ipcc/resources/pdf/IPCCSynthesisReport.pdf>

Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. 2019. IPCC Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngariz S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (eds). Published: IPCC, Switzerland.

Killian, B., L. Rivera, M. Soto, and D. Navichoc. 2013. Carbon footprint across the coffee supply chain: the case of Costa Rican coffee. *Journal of Agricultural Science and Technology* 38: 151.

Motta, J.A., Yorinori, G.T., Serrat, B.M., 2006. Distribuição horizontal e vertical da fertilidade do solo e das raízes de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cultivar Catuaí. *Acta Scientiarum Agronomy*, 28:455-463.

Michaelowa, Axel, Lukas Hermwille, Wolfgang Obergassel, and Sonja Butzengeiger. 2019. Additionality Revisited: Guarding the Integrity of Market Mechanisms under the Paris Agreement. *Climate Policy* 19 (10): 1211–24. <https://doi.org/10.1080/14693062.2019.1628695>.

Nojonen, Martin R A, Gareth Edwards-Jones, Jeremy P Hagggar, Gabriela Soto, Nicola Attarzadeh, and John R Healey. 2012. Greenhouse Gas Emissions in Coffee Grown with Differing Input Levels under Conventional and Organic Management." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 151: 6–15. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.01.019>.

Paustian, K., Lehmann J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G.P., Smith, P., 2016. Climate-smart soils. *Nature*, 532:49–57.

UNFCCC. Nationally determined contributions under the Paris Agreement. World Meteorological Organization. The state of greenhouse gases in the atmosphere based on global observations through 2020. 2021 (World Meteorological Organization, 2021).

Umesh Acharya and Rattan Lal . Carbon accounting for coffee-based farming systems. Published by World Coffee Research, 2021. Disponível em: <https://worldcoffeeresearch.org/resources/rethinking-carbon-accounting>

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

Trost, B., Prochnow, A., Drastig, K., Meyer-Aurich, A., Ellmer F Baumecker, M., Agron. *Sustain. Dev.* 2013. Irrigation, soil organic carbon and N₂O emissions. A review 33:733–749. DOI 10.1007/s13593-013-0134-0



ANEXO 1 – FOTOS DAS AMOSTRAGENS DE PLANTA E SOLO NO CAMPO

Figura 1. Processo de amostragem de solo e de planta na Fazenda Sul de Minas 2a

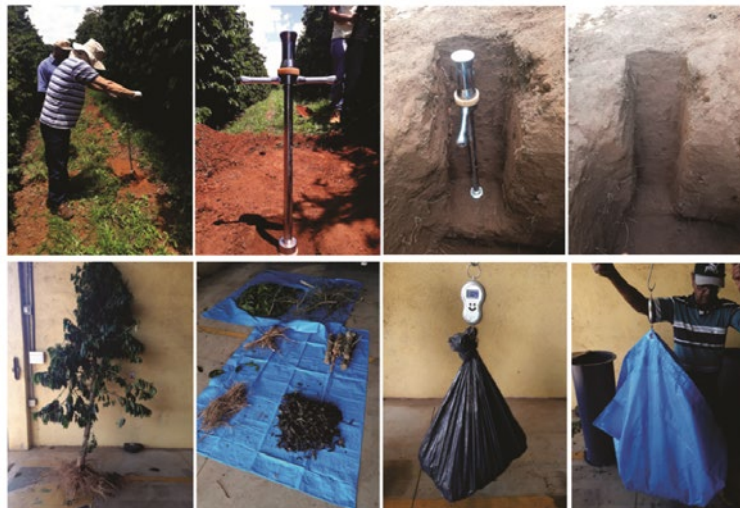


Figura 2. Processo de amostragem de solo e de planta na Fazenda Sul de Minas 2b



Figura 3. Amostragem de solo e planta na Fazenda Sul de Minas 1a



Figura 4. Amostragem de solo e de planta na Fazendas Sul de Minas 1b



Figura 5. Processo de amostragem de solo e de planta na Fazenda do Cerrado 1



Figura 6. Processo de amostragem de solo e de planta na fazenda Cerrado 2



Figura 7. Processo de amostragem de solo e de planta na Fazenda Matas de Minas 1



Figura 8. Processo de amostragem de solo e de planta na Fazenda Matas de Minas 2





ANEXO 2 - MÉTODO DE QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES E REMOÇÕES DE GEE

A metodologia de cálculo empregada para estimar das emissões de GEE por escopo está apresentada com detalhes a seguir. Na sequência, estão apresentados os métodos para estimar as remoções de GEE por solos.

Emissões do ESCOPO 1

Emissões diretas e indiretas de N₂O devido à aplicação de dejetos animais como adubo orgânico em solos agrícolas.

Para calcular a quantidade de nitrogênio passível de lixiviação ou escoamento superficial, são utilizados dados referentes ao uso de fertilizantes nitrogenados e do nitrogênio contido em compostos orgânicos utilizados para fertilização do solo (Equação 14).

$$Emiss\tilde{a}o_{L,yAM} = (F_{AM} \times Frac_{L}) \times FE_{L} \times \frac{44}{28} \times GWP_{N_2O}$$

Equação 14

Onde:

$Emiss\tilde{a}o_{L,yAM}$	Emissão de N ₂ O devido à lixiviação e escoamento superficial no ano y, em kg CO ₂ e ano ⁻¹ ;
F_{AM}	Quantidade de nitrogênio aplicada na forma de fertilizante orgânico, em kg N;
$Frac_{L}$	Fração do nitrogênio adicionado ao solo que é perdida por lixiviação ou escoamento superficial, em kg N _{lixiviado/escoado} kg N ⁻¹ _{fertilizante/esterco} (IPCC, 2019);
FE_{L}	Fator de emissão de N ₂ O para lixiviação/escoamento, em kg N ₂ O-N kg N ⁻¹ _{lixiviado/escoado} (IPCC, 2019);
$\frac{44}{28}$	Razão de conversão de N para N ₂ O;
GWP_{N_2O}	Potencial de Aquecimento Global do N ₂ O (IPCC, 2014).

Emissões de N₂O e CO₂ devido à aplicação de fertilizante sintéticos, orgânicos e corretivos em solos agrícolas.

A equação utilizada para calcular a emissão de N₂O devido à aplicação de fertilizante nitrogenado sintético e orgânico está apresentada na equação 15. É importante salientar que, esta equação está em conformidade com o recomendado pelo IPCC, 2006.

$$Emiss\tilde{a}o_{NS,y} = \left[(F_{NS,y} + F_{ON,y}) \times FE_N \times \frac{44}{28} \times GWP_{N_2O} \right]$$

Equação 15

Onde:

$Emiss\tilde{a}o_{NS,y}$	Emissão de N ₂ O devido à aplicação de nitrogênio sintético aos solos agrícolas no ano y, em kg CO ₂ e ano ⁻¹ ;
$F_{NS,y}$	Quantidade de nitrogênio aplicada ao solo agrícola na forma de fertilizante sintético, em kg de N por ano;
$F_{ON,y}$	Quantidade de nitrogênio aplicada ao solo agrícola na forma de fertilizante orgânico, em kg de N por ano;
FE_N	Fator de emissão do nitrogênio aplicado aos solos agrícolas, em kg N ₂ O-N / kg N aplicado (IPCC, 2019);
$\frac{44}{28}$	Razão de conversão de N para N ₂ O;
GWP_{N_2O}	Potencial de Aquecimento Global do N ₂ O (IPCC, 2014).

A aplicação de ureia como fertilizante origina tanto emissões de N-N₂O, cuja equação supracitada deve ser utilizada, como emissões de C-CO₂. Neste caso, a Equação 16 deve ser utilizada para o cálculo, a seguir.

$$Emiss\tilde{a}o_{ureia,y} = Q_{ureia} \times FE_{calc} \times \frac{44}{12}$$

Equação 16

Onde:

$Emiss\tilde{a}o_{ureia,y}$	Emissão de CO ₂ devido à aplicação de ureia como fertilizante agrícola no ano y em kg CO ₂ ano ⁻¹ ;
Q_{ureia}	Quantidade de ureia aplicada no solo, em kg;
FE_{calc}	Fator de emissão da ureia, em kg CO ₂ kg _{ureia} ⁻¹ (IPCC, 2006);
$\frac{44}{12}$	Razão de conversão de C para CO ₂ .

Nas operações para correção da acidez do solo, as aplicações de calcário geram emissões de C-CO₂. Portanto, devem ser calculadas conforme demonstrado na Equação 17. Adicionalmente, é comum a prática de correções da acidez com aplicações de calcário do tipo dolomítico pelo benefício adicional de aporte de magnésio ao solo. No entanto, a equação apresentada abaixo está em conformidade com o método proposto pelo IPCC (2006).

$$Emiss\tilde{a}o_{calc\acute{a}rio,y} = (Q_{calc\acute{a}rico} \times FE_{calc\acute{a}rico}) + (Q_{dolom\acute{i}tico} \times FE_{dolom\acute{i}tico}) = \frac{44}{12}$$

Equação 17

Onde:

$Emiss\tilde{a}o_{calc\acute{a}rio,y}$	Emissão de CO ₂ devido à aplicação de calcário em solos agrícolas no ano y, em kg CO ₂ e ano ⁻¹ ;
$Q_{calc\acute{a}tico}$	Quantidade de calcário calcítico aplicada, em kg;
$FE_{calc\acute{a}tico}$	Fator de emissão do calcário calcítico, em kg C-CO ₂ kg ⁻¹ CaCO ₃ (IPCC, 2006);
$Q_{dolom\acute{a}tico}$	Quantidade de calcário dolomítico aplicada, em kg;
$FE_{dolom\acute{a}tico}$	Fator de emissão do calcário dolomítico, em kg C-CO ₂ kg ⁻¹ Ca Mg(CO ₃) ₂ (IPCC, 2006);
$\frac{44}{12}$	Razão de conversão de C para CO ₂ .

É comumente conhecido que, parte do nitrogênio aplicado ao solo volatiliza na forma de amônia (NH₃) e óxido de nitrogênio (NO_x). Quando esses compostos retornam por deposição atmosférica são passíveis de emissões de N₂O. A Equação 19 é utilizada para calcular as emissões indiretas devido à volatilização de nitrogênio na forma de NH₃ e NO_x proveniente da aplicação de fertilizantes sintéticos e orgânicos para adubação do solo.

$$Emiss\tilde{a}o_{DA,y} = [(N_{FS} \times Frac_{GASF}) + (N_{FON} \times Frac_{GASM})] \times FE_{DA} \times \frac{44}{28} \times GWP_{N_2O}$$

Equação 19

Onde:

$Emiss\tilde{a}o_{DA,y}$	Emissão de N ₂ O devido à deposição atmosférica de NH ₃ e NO _x no ano y, em kg CO ₂ e ano ⁻¹ ;
N_{FS}	Quantidade de nitrogênio aplicada na forma de fertilizante sintético, em kg N;
$Frac_{GASF}$	Fração do nitrogênio aplicada na forma de fertilizante sintético que volatiliza como NH ₃ e NO _x , em kg [NH ₃ -N e NO _x -N]/ kg N aplicado (IPCC, 2019);
N_{FON}	Quantidade de nitrogênio aplicada na forma de fertilizante orgânico, em kg N;
$Frac_{GASM}$	Fração do nitrogênio aplicada na forma de fertilizante orgânico que volatiliza como NH ₃ e NO _x , em kg [NH ₃ -N e NO _x -N]/ kg N aplicado (IPCC, 2019);
FE_{DA}	Fator de emissão para a deposição atmosférica, em kg N ₂ O-N/ kg [NH ₃ -N e NO _x -N] emitido (IPCC, 2019);
$\frac{44}{28}$	Razão de conversão de N para N ₂ O;
GWP_{N_2O}	Potencial de Aquecimento Global do N ₂ O (IPCC, 2014).

Para calcular a quantidade de nitrogênio passível de lixiviação ou escoamento superficial, são utilizados dados referentes ao uso de fertilizantes nitrogenados e do nitrogênio contido em compostos orgânicos utilizados para fertilização do solo (Equação 20).

$$Emiss\tilde{a}o_{LI,y} = [(N_{FS} + N_{FON}) \times Frac_{LI}] \times FE_{LI} \times \frac{44}{28} \times GWP_{N_2O}$$

Equação 20

Onde:

$Emiss\tilde{a}o_{LI,y}$	Emissão de N_2O devido à lixiviação e escoamento superficial no ano y , em $kg\ CO_2e\ ano^{-1}$;
N_{FS}	Quantidade de nitrogênio aplicada na forma de fertilizante sintético, em $kg\ N$;
N_{FON}	Quantidade de nitrogênio aplicada na forma de fertilizante orgânico, em $kg\ N$;
$Frac_{LI}$	Fração do nitrogênio adicionado ao solo que é perdida por lixiviação ou escoamento superficial, em $kg\ N_{lixiviado/escoado}\ kg\ N^{-1}_{fertilizante/esterco}$ (IPCC, 2019);
FE_{LI}	Fator de emissão de N_2O para lixiviação/escoamento, em $kg\ N_2O-N\ kg\ N^{-1}_{lixiviado/escoado}$ (IPCC, 2019);
$\frac{44}{28}$	Razão de conversão de N para N_2O ;
GWP_{N_2O}	Potencial de Aquecimento Global do N_2O (IPCC, 2014).

Emissões de GEE pela queima de combustíveis líquidos

Os cálculos das emissões de GEE (CO_2 , N_2O e CH_4) provenientes da queima de combustíveis líquidos em fontes móveis (Diesel, Biodiesel, Gasolina e Etanol) e fontes estacionárias (Diesel, GLP, etc.), de maneira simplificada estão apresentadas pela Equação 21, a seguir.

$$Emiss\tilde{a}o_{combustivel,y} = Q_{combustivel,y} \times FE_{combustivel,y}$$

Equação 21

Onde:

$Emiss\tilde{a}o_{combustivel,y}$	Emissão de CO_2e pela queima de combustível no ano y , em $kg\ CO_2e$;
$Q_{combustivel,y}$	Quantidade de combustível consumida em litros, no ano y , por tipo de combustível e corrigido pelo valor de inclusão de biocombustível em combustível fóssil (diesel puro, biodiesel puro, gasolina pura, etanol anidro puro, etanol hidratado);
$FE_{combustivel,y}$	Fator de emissão de CO_2e pela queima de combustível por tipo de combustível (diesel puro, biodiesel puro, gasolina pura, etanol anidro puro, etanol hidratado), em $kg\ CO_2e\ L^{-1}$.

É importante lembrar que, emissões de CO_2 oriundas da queima de biocombustíveis não são adicionadas por ser biogênico, apenas de outros gases.

Emissões de GEE pela queima de combustíveis no secador e energia elétrica

Os cálculos das emissões de GEE (CO_2 , N_2O e CH_4) provenientes da queima de combustíveis (lenha, palha) no secador e de energia elétrica estimado está de maneira simplificada apresentadas pela Equação 22 a seguir.

$$Emiss\tilde{a}o_{secador} = Q_{secador} \times FE_{lenha/palha}$$

Equa\c{c}\~{a}o 22

Onde:

$Emiss\tilde{a}o_{combust\acute{i}vel,y}$ Emiss\~{a}o de CO₂e pela queima de combust\acute{i}vel no ano y, em kg CO₂e;
 $Q_{combust\acute{i}vel,y}$ Quantidade de combust\acute{i}vel consumida em kg, no ano y, por tipo de combust\acute{i}vel;
 $FE_{combust\acute{i}vel,y}$ Fator de emiss\~{a}o de CO₂e pela queima de combust\acute{i}vel por tipo de combust\acute{i}vel (lenha de eucalipto, lenha de caf\~{e}, palha), em kgCO₂e L⁻¹.

Emiss\~{o}es do ESCOPO 2

Emiss\~{a}o de GEE pelo Consumo de Energia El\~{e}trica

As emiss\~{o}es de CO₂ provenientes do consumo de eletricidade foram calculadas considerando o fator de emiss\~{a}o de cada um dos pa\acute{i}ses participantes do estudo. Na Equa\c{c}\~{a}o 23 est\~{a} apresentado o c\~{a}lculo:

$$Emiss\tilde{a}o_{Eletricidade} = Q_{EEy} \times FE_{EEy}$$

Equa\c{c}\~{a}o 23

Onde:

$Emiss\tilde{a}o_{Eletricidade}$ Emiss\~{a}o de CO₂ pelo consumo de energia el\~{e}trica (EE), no per\acute{i}odo avaliado, y, em t CO₂;
 Q_{EEy} Quantidade energia el\~{e}trica consumida no per\acute{i}odo avaliado, y, em MWh;
 FE_{EEy} Fator de emiss\~{a}o de CO₂, MgCO₂ MWh⁻¹.

Emiss\~{o}es do ESCOPO 3

Agroqu\�mico

As emiss\~{o}es de GEE provenientes da aplica\c{c}\~{a}o de agroqu\�micos est\~{a}o associados \~{a} fase de produ\c{c}\~{a}o desses qu\�micos. O uso desses produtos n\~{a}o acarreta emiss\~{o}es diretas de GEE na fazenda, portanto, devem ser reportadas como emiss\~{o}es indiretas de escopo 3. Nesta avalia\c{c}\~{a}o foram contempladas as emiss\~{o}es indiretas relativas \~{a} produ\c{c}\~{a}o de herbicidas, fungicidas, pesticidas (inseticidas e acaricidas) de acordo com a Equa\c{c}\~{a}o 24.

$$E_{AH} = (Q_{Agroqu\�mico} \times FE_{Agroqu\�micos})$$

Equa\c{c}\~{a}o 24

Onde:

E_{AH} Emiss\~{a}o de GEE associada \~{a} produ\c{c}\~{a}o de agroqu\�micos no solo, em kg CO₂e;
 $Q_{Agroqu\�mico}$ Quantidade de herbicida aplicado no solo, em kg;
 $FE_{Agroqu\�micos}$ Fator de emiss\~{a}o de herbicida, em kg CO₂e kg⁻¹ produto.

Corretivos agrícolas

As emissões de GEE provenientes da utilização de corretivos agrícolas estão associadas tanto às aplicações em campo, consideradas como emissões diretas do Escopo 1, como às fases de produção desses corretivos, consideradas como emissões indiretas do Escopo 3. Portanto, nesta avaliação também foram contempladas as emissões provenientes da produção de calcário e calculadas a partir da equação 25.

$$E_{AC} = (Q_{\text{calcário}} \times FE_{\text{calcário}})$$

Equação 25

Onde:

E_{AC} Emissão de GEE associada à produção de corretivos agrícolas no solo, em kg CO₂e;
 $Q_{\text{calcário}}$ Quantidade de calcário aplicado no solo, em kg;
 $FE_{\text{calcário}}$ Fator de emissão da produção de calcário, kg CO₂e kg⁻¹ produto.

Adubos Nitrogenados

As emissões de GEE provenientes da utilização de fertilizantes sintéticos estão associadas não só às aplicações em campo pelas entradas de nitrogênio no solo (emissões diretas do Escopo 1). Mas, também às fases de produção da matéria-prima utilizada nas formulações (emissões indiretas do Escopo 3). Dessa forma, esta avaliação abrangeu tanto emissões ocorridas em campo pela aplicação de fertilizantes, como supracitado quanto, emissões provenientes da produção das fontes de nitrogênio.

$$E_{AF} = (Q_N \times FE_N)$$

Equação 26

Onde:

E_A Emissão de GEE associada à produção de fertilizantes sintéticos no solo (kg CO₂e);
 Q_N Quantidade de nitrogênio aplicado no solo, em kg;
 FE_N Fator de emissão da produção da N-adubo, em kg CO₂e kg⁻¹.



ANEXO 3 - FATORES DE EMISSÃO E CONVERSÃO

Os fatores de emissão e conversão utilizados nas equações acima estão relacionados nas tabelas a seguir

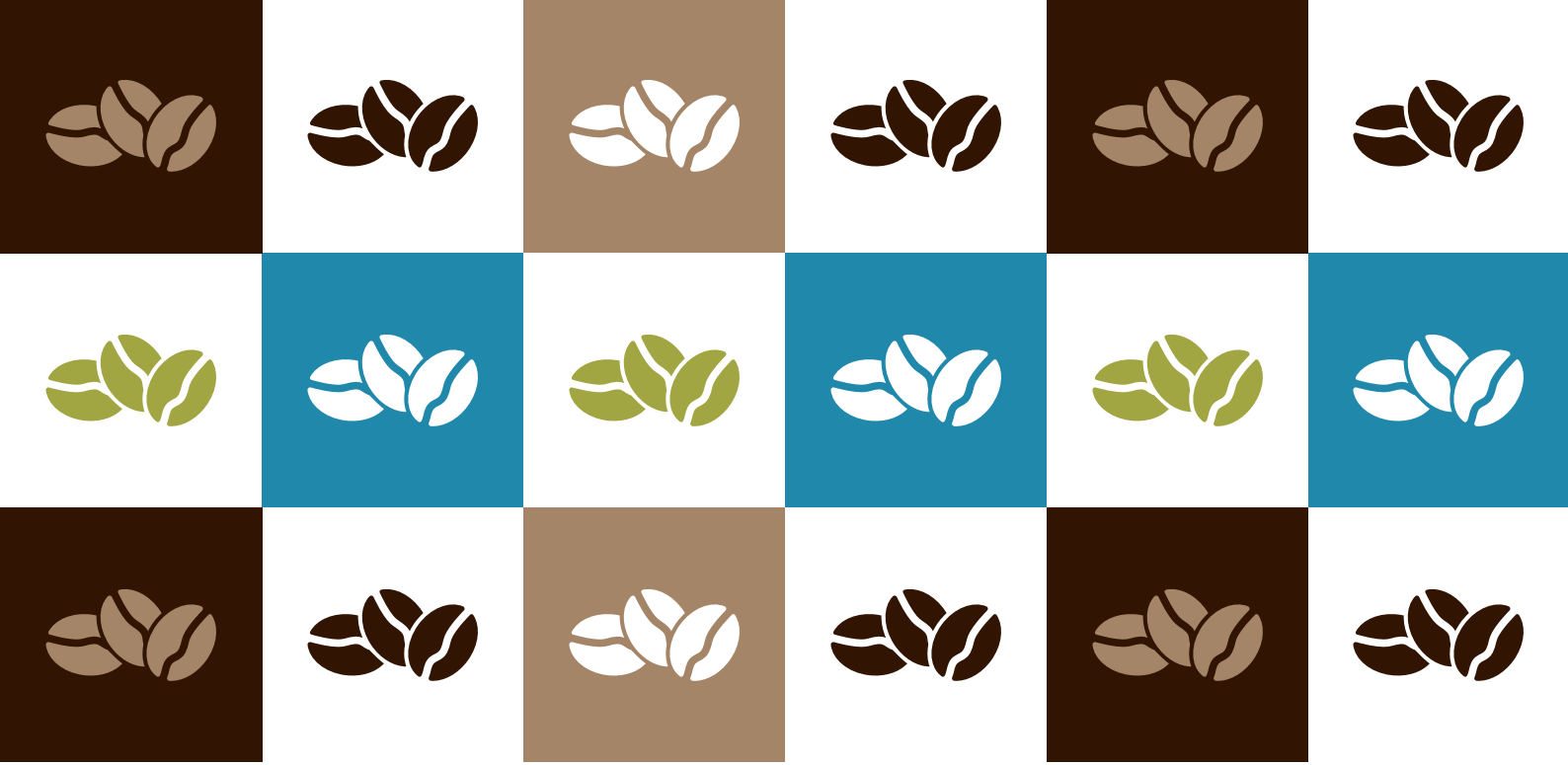
Tabela 1. Fatores de Emissão

Fator de Emissão	Unidade	Gases de efeito estufa					Referência
		CO ₂ e	CO ₂ bio	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	
Fatores de emissão direta							
FE _{ADUBO NITROGENADO}	kg N-N ₂ O k ⁻¹ N					0,01	IPCC, 2019
FE _{UREIA}	kg C-CO ₂ kg ⁻¹ UR			0,20		0,08	IPCC, 2019
FE _{CALCÍTIPO}	kg C-CO ₂ kg ⁻¹ CA			0,12			IPCC, 2006
FE _{DOLOMÍTICO}	kg C-CO ₂ kg ⁻¹ DL			0,13			IPCC, 2006
FE _{DIESEL MOV}	kg GEE L ⁻¹			2,603	0,0001	0,00014	GHG Protocol Brasil
FE _{DIESEL EST}	kg GEE L ⁻¹			2,6	0,00036	0,000021	GHG Protocol Brasil
FE _{BIODIESEL MOV}	kg GEE L ⁻¹		2,431		0,0003	0,000020	GHG Protocol Brasil
FE _{BIODIESEL EST}	kg GEE L ⁻¹		2,5		0,00033	0,000020	GHG Protocol Brasil
FE _{ETANOL MOV}	kg GEE L ⁻¹		1,457		0,0004	0,00001	GHG Protocol Brasil
FE _{ETANOL EST}	kg GEE L ⁻¹		1,5		0,00021	0,000013	GHG Protocol Brasil
FE _{HERBICIDA}	g CO ₂ e kg ⁻¹	18,08					Ecoinvent V.3.1
FE _{FUNGICIDA}	g CO ₂ e kg ⁻¹	18,98					Ecoinvent V.3.1
FE _{PESTICIDAS}	g CO ₂ e kg ⁻¹	17,24					Ecoinvent V.3.1

Tabela 2. Fatores de Conversão

Fator de Conversão	Unidade	Valor	Referência
Frac _{GASF}	kg NH ₃ -N e NO _x -N kg ⁻¹ N aplicado	0,11	IPCC, 2019
Frac _{GASM}	kg NH ₃ -N e NO _x -N kg ⁻¹ N aplicado	0,21	IPCC, 2019
Frac _{LI}	kg N lixiviado kg ⁻¹ N adicionado	0,24	IPCC, 2019





www.imaflora.org

**CARBON
ON TRACK**
CAFÉ

 *imaflora*[®]

