

SISTEMAS AGROFLORESTAIS COMO ESTRATÉGIA DE SEQUESTRO DE CARBONO NO SOLO: ESTUDO NA REGIÃO DO CAPARAÓ

Gabriel Jubini Bellon, Thays Camilo Souza, Arnaldo Henrique de Oliveira Carvalho.

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo – Campus Ibatiba/ Núcleo de Estudos em Agroecologia e Educação Ambiental, Avenida 7 de Novembro, 40, Centro - 29395-000 - Ibatiba-ES, Brasil,
gabrielbellonengamb23@gmail.com, Cs_thays@outlook.com,
acarvalho@ifes.edu.br.

Resumo

As transformações no uso da terra, impulsionadas majoritariamente por práticas agrícolas convencionais, afetam intensamente o teor de matéria orgânica e o conteúdo de carbono no solo, contribuindo, em alguns casos, para emissões de gases de efeito estufa. No entanto, sistemas agroflorestais (SAFs), quando bem manejados, promovem a regeneração da matéria orgânica e a melhoria das características do solo. Este estudo teve como objetivo avaliar os teores de carbono e matéria orgânica do solo em diferentes usos do solo, localizados na região do Caparaó. Foram avaliadas três áreas: uma mata nativa em Ibatiba/ES, um SAF implantado há quatro anos e outro com seis meses, ambos em Ibatiba/ES. Amostras foram coletadas em três profundidades (0–10, 10–20 e 20–30 cm) e analisadas quanto ao carbono orgânico total (COT), matéria orgânica (MO) e estoques de carbono. Espera-se que os SAFs apresentem valores superiores aos sistemas tradicionais, evidenciando seu papel na conservação do solo e mitigação das mudanças climáticas.

Palavras-chave: Sistemas agroflorestais. Matéria orgânica. Estoque de carbono. Sustentabilidade. Qualidade do solo.

Área do Conhecimento: Engenharia Agrônoma. Agronomia.

Introdução

A substituição da vegetação nativa para instalação de sistemas agrícolas na região do Caparaó, associada ao manejo convencional e ao uso limitado de práticas conservacionistas, tem provocado alterações na dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS) e redução no estoque de carbono, impactando negativamente a qualidade física, química e biológica dos solos locais. Em regiões tropicais como o Espírito Santo, a MOS exerce papel fundamental na fertilidade do solo, contribuindo para a capacidade de troca de cátions, retenção de água, estruturação do solo e suporte à microbiota edáfica, sendo essencial à sustentabilidade dos agroecossistemas.

O solo, por ser um sistema vivo e dinâmico, atua como suporte essencial para a vegetação e para inúmeros organismos, regulando ciclos de nutrientes e água indispensáveis à manutenção dos ecossistemas (Sousa *et al.*, 2022). Entretanto, quando a decomposição da matéria orgânica ocorre em ritmo mais acelerado do que sua reposição, a estabilidade do sistema é comprometida, resultando em perda de qualidade e maior suscetibilidade à degradação. A conversão da vegetação nativa em áreas agrícolas intensivas pode ocasionar reduções de até 50% do carbono orgânico nas camadas superficiais do solo (Rangel; Silva, 2007).

Nesse cenário, os sistemas agroflorestais (SAFs) se destacam como alternativa promissora, conciliando produção agrícola com conservação ambiental, sobretudo em áreas cafeeiras da região (Incaper, 2023). Os SAFs avaliados neste estudo apresentam composições diversas de banana,

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

palmito, café e espécies nativas, sendo importantes para o aporte contínuo de resíduos orgânicos e o sequestro de carbono.

Portanto o objetivo do presente estudo é avaliar comparativamente os teores de carbono orgânico total, matéria orgânica e estoque de carbono em dois sistemas agroflorestais com café, com diferentes tempos de implementação, e em uma área de mata nativa na região do Caparaó.

Metodologia

O estudo foi conduzido em três propriedades rurais localizadas nos municípios de Iúna e Ibatiba, região do Caparaó, ES. Foram selecionadas três áreas com distintos usos da terra: Mata Nativa (Ibatiba/ES), representada pela **Figura 1**.

Figura 1 : Área de Mata Nativa localizada em Ibatiba/ES, delimitada em vermelho para identificação espacial



Fonte: Google earth

Sistema Agroflorestal (SAF 1) com 4 anos de implantação (Iúna/ES), composto por banana, café, palmito e espécies nativas, representada na **Figura 2A**;

Sistema Agroflorestal (SAF 2) em fase inicial, com 6 meses de implantação (Iúna/ES), com cultivos de banana, café e espécies pioneiras, representada na **Figura 2B**;

Figura 2 : Áreas dos Sistemas Agroflorestais (SAF 1 e SAF 2) localizadas no município de Iúna/ES, delimitadas em vermelho para identificação espacial.



Fonte: Google earth

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

As coletas de solo foram realizadas em três profundidades: 0–10 cm, 10–20 cm e 20–30 cm, utilizando um trado. Em cada área foram delimitados 3 pontos de coleta, sendo retiradas 3 amostras simples por profundidade para composição da amostra composta. As análises laboratoriais foram realizadas no laboratório do IFES – Campus Ibatiba.

O carbono orgânico total (COT) e a matéria orgânica do solo foram determinados por métodos consolidados na literatura, sendo o (COT) a partir da oxidação do carbono por via úmida (MENDONÇA; MATOS, 2005) e a matéria orgânica oi calculado multiplicando-se o resultado do COT por 1,724, tal fator é utilizado em virtude de se admitir que na composição média da matéria orgânica em decomposição, o carbono participa com 58% (CLAESSEN *et al.*, 1997), permitindo avaliar o conteúdo de carbono disponível no solo e a qualidade da matéria orgânica presente (ANDERSON; DOMSCH, 1993).

Os estoques de carbono foram calculados considerando a densidade do solo de acordo com (FERNANDES E FERNANDES, 2008), e a profundidade das camadas amostradas, possibilitando estimar a quantidade total de carbono acumulado por unidade de área, indicador relevante para a sustentabilidade e conservação do solo (RANGEL; SILVA, 2007).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias comparadas pelo teste de Tukey, considerando nível de significância de 5%. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SISVAR (FERREIRA, 2011)

Resultados

Os resultados médio dos atributos químicos do solo sob diferentes sistemas de uso e profundidades estão apresentados nas tabelas 1 e 2. Houve diferenças significativas ($p \leq 0,05$) em relação ao carbono orgânico total e a matéria orgânica entre os sistemas e as camadas de solo avaliadas. Já para os estoques de carbono, somente os sistemas se diferenciam estatisticamente.

O SAF com 6 meses apresentou os maiores teores de COT e MO, principalmente na camada de 0–10 cm, diferindo estatisticamente das demais áreas. A Mata Nativa apresentou valores mais estáveis entre as profundidades, mas menores em relação ao SAF mais recente. O SAF com 4 anos mostrou valores intermediários, situando-se entre a mata e o SAF recém-implantado, demonstrado na **Tabela 1**.

Tabela 1: Tabela apresentando os valores obtidos em relação ao carbono orgânico total e a matéria orgânica.

Área	COT (g.kg ⁻¹)			MO (g.kg ⁻¹)		
	PROFUNDIDADE			PROFUNDIDADE		
	0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30
MATA NATIVA	26bA	28bA	22bA	44,824bA	49,134bA	37,928bB
SAF 1	29bA	33bA	27bA	49,997bBA	53,443bA	43,962bB
SAF 2	66aB	55,5aB	52aA	113,784aA	100,423aB	93,961aB
CV%	8,37			4,77		

Fonte: Autores

No estoque de carbono, a análise de variância apontou que somente os diferentes sistemas de manejo foram significativos a Tukey 5%. Se observou maior acúmulo no SAF de 6 meses, seguido pelo SAF de 4 anos e pela Mata Nativa. Esse resultado evidencia que, mesmo em curto período após a

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

implantação, os SAFs já contribuem de forma significativa para a incorporação de carbono no solo, apresentados na **Tabela 2**.

Tabela 2: Tabela apresentando os valores obtidos em relação ao estoque de carbono e estoque de carbono corrigido.

Área	Estoque C (t C.ha ⁻¹)	Estoque C-Cor (t C.ha ⁻¹)
Mata nativa	28.588b	22.3814b
SAF 1	32,807b	26.363b
SAF 2	65,125a	61.8325a
CV%	16,67	33,63

Fonte: Autores

Discussão

Os maiores teores de COT e MO encontrados no SAF com 6 meses podem ser explicados pelo aporte expressivo de resíduos vegetais, como folhas de banana, restos de café e palmito. Em sistemas recém-implantados, essa biomassa fresca é decomposta rapidamente, aumentando a fração lábil da matéria orgânica e favorecendo a incorporação de carbono no solo. Estudos de revisão demonstram que, mesmo em fases iniciais, os SAFs apresentam elevada capacidade de fixação de carbono, podendo alcançar níveis semelhantes aos observados em áreas de mata nativa, além de superarem pastagens e sistemas convencionais. Esse comportamento confirma que a adoção de SAFs, mesmo em curto prazo, já contribui para a melhoria da qualidade do solo e mitigação de gases de efeito estufa.

Por outro lado, a Mata Nativa apresentou valores mais estáveis entre as camadas, refletindo um sistema em equilíbrio dinâmico, com entrada e decomposição de matéria orgânica mais constantes ao longo do tempo (Jakelaitis *et al.*, 2008; Silva *et al.*, 2020).

O SAF com 4 anos apresentou resultados intermediários, sugerindo que o sistema encontra-se em fase de estabilização do estoque de carbono, com parte da matéria orgânica já sendo incorporada em frações mais recalcitrantes. Resultados semelhantes foram encontrados em estudos de cafezais sombreados no Espírito Santo, onde a diversificação dos cultivos promoveu maior equilíbrio entre a adição e a decomposição da matéria orgânica do solo (Sales & Baldi, 2020).

Além das diferenças observadas no COT e na MO, os resultados também evidenciam variações significativas no estoque de carbono entre os sistemas avaliados. O SAF de 6 meses apresentou o maior acúmulo de C no solo, seguido pelo SAF de 4 anos e pela Mata Nativa. Esse resultado pode estar relacionado ao intenso aporte de resíduos orgânicos na fase inicial de implantação do SAF, o que acelera a incorporação de carbono nas camadas superficiais. Resultados semelhantes foram descritos por Stöcker *et al.* (2018), que observaram estoques de C em SAFs jovens comparáveis aos de áreas de vegetação natural, e por Iwata *et al.* (2021), que destacaram a sensibilidade das frações lábeis da MOS em sistemas recém-implantados.

Estudos de revisão confirmam que os SAFs possuem alto potencial de estocar carbono, muitas vezes alcançando valores semelhantes ou até superiores aos de matas nativas, e bem maiores do que os observados em pastagens e sistemas convencionais (INCAPER, 2023; RANGEL; SILVA, 2007). Esse efeito é atribuído à diversidade de espécies e à constante deposição de biomassa, que favorecem a ciclagem de nutrientes e promovem maior estabilidade do C no solo (NAIR; KUMAR; NAIR, 2009).

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

O SAF de 4 anos apresentou valores intermediários de estoque de C, sugerindo que parte da matéria orgânica adicionada já está sendo incorporada em frações mais recalcitrantes, o que tende a estabilizar o sistema em médio prazo (LEITE *et al.*, 2004). A Mata Nativa, por sua vez, apresentou menores valores absolutos de estoque de C, mas mais equilibrados entre as profundidades, refletindo um sistema em estabilidade dinâmica. Assim, os resultados confirmam que a implantação e o manejo de SAFs são estratégias eficazes não apenas para aumentar os teores de COT e MO, mas também para ampliar o estoque de carbono no solo, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas (SILVA; AZEVEDO; DE-POLLI, 2007).

Conclusão

Observa-se uma demanda crescente por modelos de produção agrícola que promovam maior equilíbrio ambiental. Nesse contexto, o cultivo de café sob manejo orgânico representa uma alternativa promissora para restaurar solos impactados por práticas convencionais intensivas e favorecer um uso mais responsável dos recursos naturais. Diante disso, estudos que avaliem a eficácia desses sistemas são fundamentais, especialmente para orientar produtores em transição do cultivo tradicional para o orgânico.

Apesar de não terem sido observadas diferenças estatisticamente significativas entre os sistemas avaliados, os resultados indicam tendências que merecem atenção. Isso mostra que o solo responde de formas distintas ao manejo, ainda que de maneira sutil, reforçando a importância de práticas que valorizem a conservação e o equilíbrio desse recurso tão essencial.

Referências

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 25, n. 3, p. 393–395, 1993. Acesso em: 29 ago. 2025

BARRETO, P. A. B. et al. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p. 1341–1353, 2007. Acesso em: 25 ago. 2025

CLAESSEN, M. E. C. et al. *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPq, 1997. 212 p. (Documentos, 1). Acesso em: 27 ago. 2025

FERNANDES, A. H. B. M.; FERNANDES, F. A. Cálculo de estoques de carbono no solo. In: SANTOS, G. A. et al. (org.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 541–554. Acesso em: 29 ago. 2025

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039–1042, 2011. DOI: 10.1590/S1413-70542011000600001. Acesso em: 25 ago. 2025

INCAPER. *Revista Incaper*, Vitória, 2023. Disponível em: <https://revista.incaper.es.gov.br/index.php/ojs/article/view/12/12>. Acesso em: 25 ago. 2025.

IWATA, H. et al. Soil carbon dynamics in young agroforestry systems: evidence from tropical regions. *Catena*, v. 196, p. 104–112, 2021. DOI: 10.1016/j.catena.2020.104812. Acesso em: 28 ago. 2025

JAKELAITIS, A. et al. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 38, n. 2, p. 118–127, 2008. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/2530/253020441008.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2025.

LEITE, L. F. C. *Matéria orgânica do solo*. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2004. 31 p. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 97). Acesso em: 26 ago. 2025.

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. *Matéria orgânica do solo: métodos de análises*. Viçosa: UFV, 2005. 107 p. Acesso em: 16 ago. 2025

NAIR, P. K. R.; NAIR, V. D.; KUMAR, B. M.; HAILE, S. G. Soil carbon sequestration in tropical agroforestry systems: a feasibility approach. *Environmental Science & Policy*, v. 12, p. 1099–1111, 2009. DOI: 10.1016/j.envsci.2009.01.010. Acesso em: 20 ago. 2025.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; GUIMARÃES, P. T. G. Estoque e frações da matéria orgânica de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 31, p. 1341–1353, 2007. Acesso em: 20 ago. 2025.

SALES, E. F.; BALDI, A. *Cafezais sombreados: experiências com o manejo do sistema no Estado do Espírito Santo*. Vitória, ES: Incaper, 2020. 39 p. (Incaper. Documentos, 264). Acesso em: 21 ago. 2025.

SILVA, E. E. da; AZEVEDO, P. H. S. de; DE-POLLI, H. Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO_2). *Comunicado Técnico 99*. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. 4 p. Acesso em: 22 ago. 2025.

SILVA, M. O. et al. Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 1, p. 6853–6875, 2021. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/23374>. Acesso em: 22 ago. 2025.

SOUSA, T. P. et al. Atividade microbiana como indicador de resposta ambiental em área de deposição de resíduo siderúrgico. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 42, 2022. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/2089>. Acesso em: 28 ago. 2025.

STÖCKER, C. M.; SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W.; WATZLAWICK, L. F. Estoques de carbono de um Argissolo sob sistema agroflorestal. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária)*, Recife, v. 13, n. 2, e5532, 2018. DOI: 10.5039/agraria.v13i2a5532. Acesso em: 28 ago. 2025.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal do Espírito Santo, campus Ibatiba, pelo apoio recebido e a FAPES pela bolsa de iniciação científica através do Edital PIBIC 03/2024. Ao Programa PPP do Ifes por meio do Edital 13/2025