

Carbono orgânico e cromatografia de Pfeiffer como indicadores da saúde biológica de solos com culturas anuais e perenes

Érika Andressa Silva^{1*}; Maria Cristina Oliveira Borges²; Franciane Diniz Cogo³; Evandro Freire Lemos³

¹ Instituto Federal Catarinense, Campus Videira, Santa Catarina.

² Bióloga, Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG).

³ Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), Campus Passos, Minas Gerais.

* erika.silva@ifc.edu.br

Resumo: O solo é o segundo maior reservatório em armazenamento e sequestro de carbono, logo após os oceanos. Assim sendo, o uso sustentável do solo pode contribuir para amenizar as alterações climáticas, visto que solo saudável estabiliza e armazena carbono, atenuando as emissões de CO₂ para a atmosfera. Objetivou-se quantificar o teor de carbono (COS) e avaliar a saúde biológica do solo pela cromatografia de Pfeiffer em Latossolo sob mata nativa, e diferentes cultivos (cafeeiro, cana-de-açúcar, eucalipto, banana, algodão e milho). O trabalho foi conduzido em um delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições e sete usos de solo. Houve diferença nos teores de carbono no solo cultivado, sendo que, a mata nativa, o eucalipto e a banana apresentaram maiores teores do que as outras culturas. A cromatografia de Pfeiffer demonstrou resultados satisfatórios para o diagnóstico da qualidade do solo.

Palavras-chave: Latossolo; Saúde do solo; Usos da terra; Mudanças Climáticas.

Organic carbon and Pfeiffer chromatography as indicators of the biological health of soils with annual and perennial crops

Abstract: The soil is the second-largest reservoir for carbon storage and sequestration, following the oceans. Therefore, the sustainable use of soil can help mitigate climate change, as healthy soil stabilizes and stores carbon, reducing CO₂ emissions into the atmosphere. This study aimed to quantify the soil organic carbon (SOC) content and assess soil biological health using Pfeiffer chromatography in a Oxisol under native forest and different crop systems (coffee, sugarcane, eucalyptus, banana, cotton, and corn). The experiment was conducted in a completely randomized design with four replications and seven land uses. Differences in soil carbon content were observed among cultivated soils, with native forest, eucalyptus, and banana showing higher levels than the other crops. Pfeiffer chromatography demonstrated satisfactory results for soil quality assessment.

Keywords: Oxisol; Soil health; Land use; Climate change.

Introdução

As recentes alterações climáticas demonstram o quão difíceis são os desafios na relação entre a humanidade e o solo do planeta e é isso o que relata o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007). De acordo com este relatório do IPCC, o solo desempenha uma importância significativa para o clima, sendo as atividades dependentes do uso da terra responsáveis pela emissão de 12 a 15 % do CO₂ (dióxido de carbono). Segundo Pivetta (2019), as escolhas que o homem faz podem minimizar ou agravar as mudanças climáticas, levando a sociedade a novas decisões sobre como utilizar o solo.

Conforme relatório da Agência Europeia Ambiental (2021), o solo é o segundo maior em armazenagem e sequestro de carbono, logo após os oceanos. O uso sustentável do solo pode contribuir para amenizar as alterações climáticas e auxiliar a população humana a se adaptar a elas, visto que solo saudável estabiliza e armazena o carbono depositado pelas plantas atenuando as emissões de CO₂ para a atmosfera. A armazenagem do carbono não é igual em todos os solos, além do que, altas temperaturas afetam o teor de carbono orgânico no solo (Cogo *et al.*, 2022).

Atualmente, as características químicas e físicas dos solos estão cada vez mais comprometidas pelas ações antrópicas, levando a sua degradação, causando assim perda de fertilidade, compactação e fracionamento dos agregados, prejudicando a infiltração de água e o crescimento apropriado do sistema radicular dos vegetais (Oliveira *et al.*, 2008).

Na região sudeste o predomínio é de Latossolo, ocupando 56 % da região, sendo solos profundos, muito porosos, bem drenados e situados em relevos planos (Pedrosa, 2014). Mas, o uso inadequado desse solo, com arações e gradagens (prática comum para o plantio agrícola) tem causado sua degradação e contribuído para emissão de gases de efeito estufa, pela oxidação da matéria orgânica liberada de agregados rompidos pelo maquinário (Silva *et al.*, 2016).

Dessa forma, conforme Pedrosa (2014), o tipo de plantio influencia na manipulação química, física e biológica do solo. O preparo do solo visa à melhoria das condições para germinação das sementes, emergência das plântulas, além de favorecer o estabelecimento e desenvolvimento das plantas cultivadas. Todavia, é esse manejo convencional uma das causas principais das reduções nos estoques de carbono no solo (Cogo *et al.*, 2022).

Por outro lado, o plantio direto e o manejo com ausência de revolvimento do solo é considerado uma das mais importantes ações ambientais brasileiras em atendimento às recomendações da Eco-92, conferência da Organização das Nações Unidas. Ao priorizar o

não revolvimento do solo e contribuir para o acúmulo de matéria orgânica sobre a superfície do solo, o plantio direto auxilia no sequestro de carbono pelo solo. Portanto, há práticas de manejo sustentáveis (Carducci *et al.*, 2016).

Ademais, maiores teores de carbono no solo podem ser indicativos de melhor qualidade biológica. Para verificar se há relação entre carbono orgânico e biologia do solo, também pode ser interessante utilizar-se de ferramentas como a Cromatografia Circular de Pfeiffer (Pinheiro, 2011).

Esta técnica permite avaliar a saúde biológica de um solo através do equilíbrio visualizado entre as diferentes zonas de um desenho que se forma em papel filtro após impregnação de solução com Nitrato de Prata (AgNO_3) e, em seguida, impregnação com uma solução de solo mais Hidróxido de Sódio (NaOH). Portanto, a cromatografia de Pfeiffer nos permite investigar características bioquímicas do solo de forma simples, prática e barata, uma vez que suas técnicas necessitam de poucos materiais, podendo, inclusive, ser realizada fora do ambiente laboratorial (Rivera; Pinheiro, 2011, Novaes *et al.*, 2018).

Todavia, a Cromatografia circular de Pfeiffer não substitui qualquer outra análise puramente química, contudo sua simplicidade possibilita verificar a atividade microbiológica e uma rápida orientação quanto às necessidades de manejo (Novaes *et al.*, 2018).

Portanto, este estudo busca contribuir para a compreensão de como o teor de carbono orgânico e a saúde biológica do solo são influenciados por diferentes sistemas de manejo, tanto em cultivos anuais quanto perenes. O objetivo do trabalho foi quantificar o teor de carbono orgânico e avaliar a saúde biológica do solo, utilizando a cromatografia de Pfeiffer, em Latossolo sob mata nativa e diferentes sistemas de cultivo, incluindo cafeeiro, cana-de-açúcar, eucalipto, banana, algodão e milho.

Material e Métodos

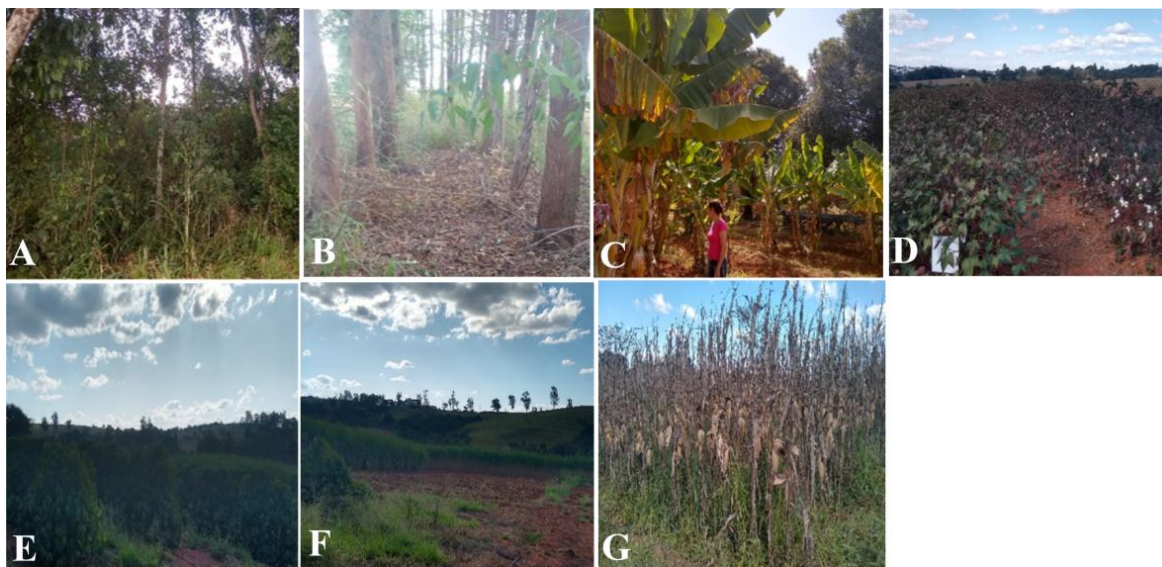
Área de estudo

O estudo foi realizado em áreas pertencentes à Fazenda Experimental da Universidade do Estado de Minas Gerais - Unidade Acadêmica de Passos (UEMG - Passos), situada no município de Passos, Minas Gerais (MG), Brasil. O clima regional é classificado com Aw-tropical de altitude, segundo o sistema de classificação de Köppen, com verão chuvoso e inverno seco (Alvares *et al.*, 2013) e médias anuais de precipitação e temperatura de, respectivamente, 1.709,4 mm e $\geq 18,0^\circ\text{C}$ (INMET, 2019). O solo desta área é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo típico (Santos *et al.*, 2018).

Amostragem

As amostragens, em 4 repetições foram realizadas na camada de 0-5 cm de cada tipo de uso do solo (mata nativa, cafeeiro, cana-de-açúcar, eucalipto, banana, algodão e milho) (Figura 1). Foram coletadas amostras deformadas para obtenção da TFSA (terra fina seca ao ar) que foi utilizada nas análises de carbono orgânico do solo e Cromatografia Circular de Pfeiffer.

Figura 1 – Mata nativa (a) e Culturas de: eucalipto (b), banana (c), algodão (d), café (e), cana (f) e milho (g). Fonte: elaborado pelos autores (2025).



Análises laboratoriais: carbono orgânico do solo e cromatografia

A matéria orgânica do solo foi determinada pela oxidação do CO_2 por íons de dicromato (solução de $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 4N em H_2SO_4 10 Mol L^{-1}), e a leitura realizada por calorimetria (Raij *et al.*, 2001). Os teores de carbono orgânico (COS) foram determinados utilizando-se o fator 1,724 (divide-se o valor de matéria orgânica por 1,724), admitindo-se que o carbono representa 58% da matéria orgânica do solo (EMBRAPA, 2009).

Para análise das amostras foi usada a técnica de Cromatografia Circular de Pfeiffer conforme metodologia descrita em Restrepo e Pinheiro (2011). Desta forma, amostras de cada uso do solo foram secas ao ar, maceradas e peneiradas em malha de 2,00 mm. Em seguida foram pesadas, de cada amostra de campo, de 5 g de solo (Figura 2a). Também foram preparadas as soluções de hidróxido de sódio (NaOH) com adição de NaOH a 1 % em água destilada e de nitrato de prata (AgNO_3) com adição de AgNO_3 a 0,5 % em água destilada (Figura 2b,c).

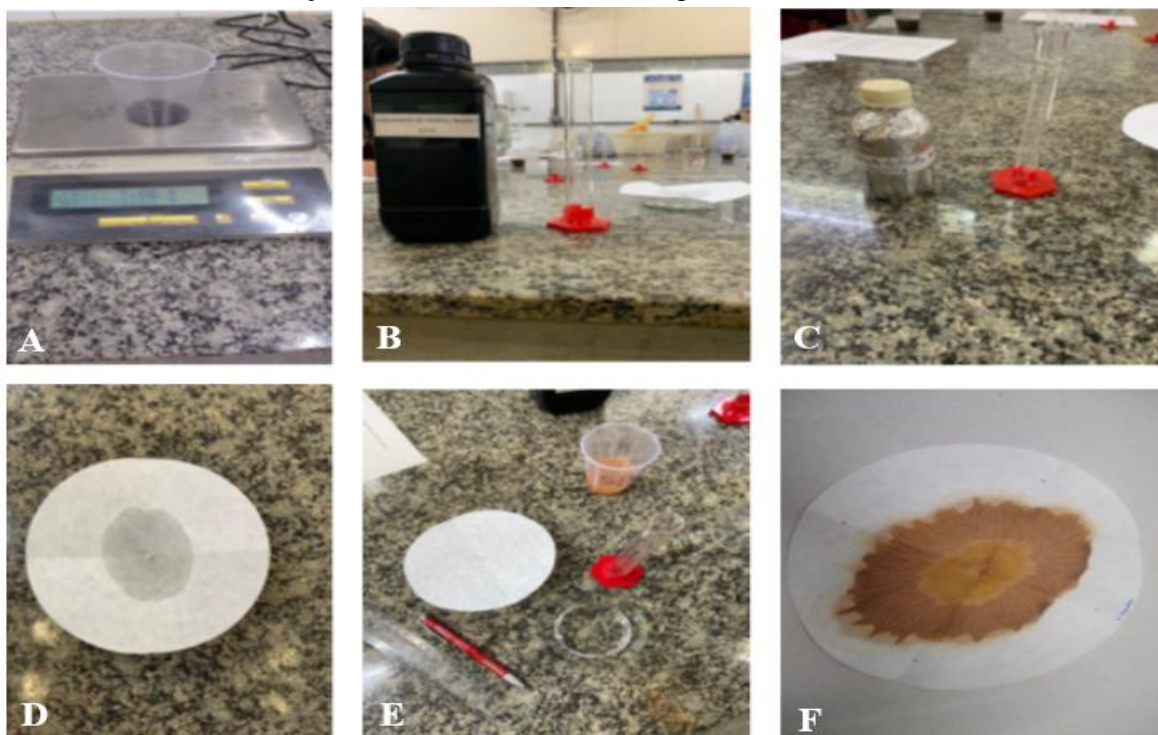
Logo após, foram preparados os papéis filtros circulares de numeração 4, de 150 mm de diâmetro da marca Whatman®. O papel foi marcado em três locais: no centro, e 4 e 6 cm do

centro. O centro foi perfurado com orifício de 2 mm. A partir do centro foi demarcado com caneta os pontos distantes em 4 e 6 cm.

Para obtenção dos rolos de papel (tubos capilares) quadriculou-se uma folha de papel de filtro de 2 cm x 2 cm com lápis, e os quadrados foram recortados e enrolados formando um tubo. O tubo foi introduzido nos orifícios dos filtros perfurados em seu centro, para atuarem com capilares para impregnação dos papéis com as soluções. Desta forma, adicionou-se 10 mL da solução de AgNO_3 numa placa de petri, e em seguida, colocou-se o papel filtro em contato com essa solução com auxílio do capilar. Aguardou-se que fosse impregnado até os 4 cm previamente marcados (Figura 2d). Decorrido o processo, os filtros foram retirados e esperou-se que secassem sem contato com a luz em uma estufa desligada. Durante o período de secagem dos papéis de filtro, preparou-se a solução de solo com hidróxido de sódio (NaOH).

A amostra de solo de 5 g foi dissolvida em 50 ml da solução de NaOH , agitando-se de forma circular por 6 vezes para a direita e para esquerda, com descanso por 15 minutos, e posterior segunda agitação. O mesmo procedimento de agitação foi realizado pela terceira vez após uma hora, e deixou-se a solução em descanso por 6 horas.

Figura 2 - a) Pesagem de 5 g solo; b) preparo da solução de NaOH ; c) preparo da solução de AgNO_3 ; d) impregnação do papel de filtro com AgNO_3 ; e) Impregnação do papel filtro com solução solo e NaOH ; f) cromatograma revelado.



Decorrido o tempo, foram pipetados 10 mL da solução NaOH solo e transferidos para placa de petri. Introduziu-se o papel de filtro impregnado com AgNO_3 mantendo contato com a solução de NaOH solo por meio do capilar. Aguardou-se que a solução de solo fosse

impregnada até a marca dos 6 cm (Figura 2e). Após esse processo, capilar foi retirado e o filtro foi colocado para secar em estufa desligada para revelar as informações (Figura 2f). Esse processo de revelação durou aproximadamente 5 dias (RESTREPO e PINHEIRO, 2011). Após esse período, por meio de escâner de aplicativo celular, as imagens foram digitalizadas. Para apresentação dos resultados dos cromatogramas foi necessário o tratamento das imagens como recorte e aplicação de filtros, realizado através do Software Livre GIMP 2.10.12.

Para verificar a repetitividade dos padrões, para cada uso do solo foram realizados quatro cromatogramas, totalizando 28 cromatogramas. Com auxílio de régua graduada foram tomadas medidas das zonas interna, intermediária e externa de cada cromatograma. Estas zonas demonstram desde a interação biológicas com bactérias até a sua caracterização enzimática/proteica e mineral. Posteriormente, deve ser observado os diâmetros das zonas de cada solo para serem comparados.

Delineamento experimental e análises estatísticas

Este estudo foi conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado, sendo 4 repetições e 7 usos do solo (mata nativa, cafeeiro, cana-de-açúcar, eucalipto, banana, algodão e milho). Cabe destacar que o solo sob vegetação natural (mata nativa) foi considerado como testemunha para análise dos dados.

Os dados de carbono orgânico e cromatografia foram submetidos à análise de variância (ANAVA) quando pertinente, as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5 % de probabilidade de erro, com auxílio do programa Infoestat (Di Rienzo *et al.*, 2012).

Resultados e Discussão

Verificou-se pela análise de variância que há diferenças entre os usos dos solos para acúmulo de carbono orgânico. A mata, o eucalipto e a banana tiveram maiores acúmulos de carbono orgânico que o solo cultivado com café, algodão, cana e milho (Tabela 1). Destaca-se que a mata, o eucalipto e a banana eram áreas as quais havia muita serapilheira, e ainda, esses cultivos encontravam-se em pousio.

Tabela 1 - Valores médios de Carbono orgânico do solo (COS) em Latossolo sob diferentes usos.

Usos do solo	COS (%)
Milho	1,90 A
Cana	2,05 A
Café	2,57 A
Algodão	2,60 A
Banana	2,97 B
Eucalipto	3,00 B
Mata Nativa	3,92 C

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott (5 %). COS: Carbono orgânico do solo.

O milho, algodão e a cana-de-açúcar, pelo histórico da fazenda, são cultivos anuais convencionais introduzidos com revolvimento do solo. Essa prática de preparo do solo faz com que a matéria orgânica seja degradada na forma de CO₂. O café também é cultivo convencional e as entrelinhas são mantidas limpas, sem cobertura vegetal, o que desfavorece o acúmulo de matéria orgânica (Silva *et al.*, 2016). De acordo com Secretti (2017) e Ferreira (2013) sistemas de plantio convencionais tem tendência a estimular perdas de carbono, tanto por aumentar a oferta de oxigênio para os organismos decompositores, como por fragmentar agregados que protegem o carbono do acesso microbiano.

Macedo (2009) afirma que práticas inadequadas de culturas vêm ocasionando degradação do solo, bem como dos recursos naturais e com isso menor quantidade de carbono é incorporada no solo causando perda de produtividade e ocorrendo pragas e doenças mais severas.

A mata por não ter muita interferência antrópica, conforme esperado, tem acúmulo de matéria orgânica superior aos solos cultivados. O eucalipto, em pousio em longo prazo, pode continuar acumulando carbono nas camadas superficiais e tornar-se um ambiente sustentável (Cogo *et al.*, 2022).

De acordo com Gonçalves e Ceretta (1999) a quantidade de carbono orgânico acumulado no solo depende fundamentalmente da quantidade de massa seca produzida pelos sistemas cultivos, e que cultivos, sob plantio direto há seis anos, promoveram acúmulos significativos de carbono orgânico, somente na camada mais superficial do solo (0-2,5 cm). Secretti (2017) e Briedis *et al.* (2012) afirmam que num sistema de plantio direto a tendência é uma diminuição de carbono em profundidade devido aos restos de matéria orgânica estar na superfície e não incorporados como em um sistema convencional, ou seja, está apenas nas camadas mais superficiais do solo (0 - 10cm).

Conforme Alvarez (2005); Gregorich *et al.* (2005) e Jantalia *et al.* (2007) o sistema

conservacionista (não há revolvimento e com rotação de cultura do solo) promove aumento da quantidade de carbono depositado no solo. Dessa forma, espera-se que as culturas em pousio, eucalipto e banana, a longo prazo, possam acumular maiores teores de carbono no solo.

Além disso, sugere-se que no próximo ciclo de plantio, o milho seja introduzido em sistema de plantio direto e que no cafeeiro seja introduzido um consórcio, cultivando braquiárias nas entrelinhas, o que poderia favorecer o aumento nos teores de carbono no solo.

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios para o tamanho das zonas centrais, intermediárias e externas dos cromatogramas em função do uso do solo. Verificou-se que a mata nativa e o eucalipto têm maior diâmetro de zona central, e os menores diâmetros de zonas centrais foram encontrados no café e na cana-de-açúcar. O eucalipto possui a menor zona intermediária e a mata a maior zona externa. Banana, café e cana-de-açúcar apresentaram a menor zona externa.

Tabela 2 - Valores médios para maior zona central, menor zona central, zona intermediária e zona externa dos cromatogramas.

Usos do Solo	Maior ZC	Menor ZC	ZI	ZE
cm			
Mata nativa	6,57A	4,83A	2,40A	1,50A
Algodão	5,33B	4,40 A	2,50A	0,83B
Banana	5,23B	4,07 A	2,83A	0,63C
Milho	5,17B	4,00 A	2,33A	1,00B
Café	4,67C	4,00 A	2,50A	0,50C
Eucalipto	6,00 A	4,60 A	1,47B	0,93B
Cana	4,50 C	3,83 A	2,33A	0,50C

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (5%). ZC: zona central, ZI: zona intermediária, ZE: zona externa.

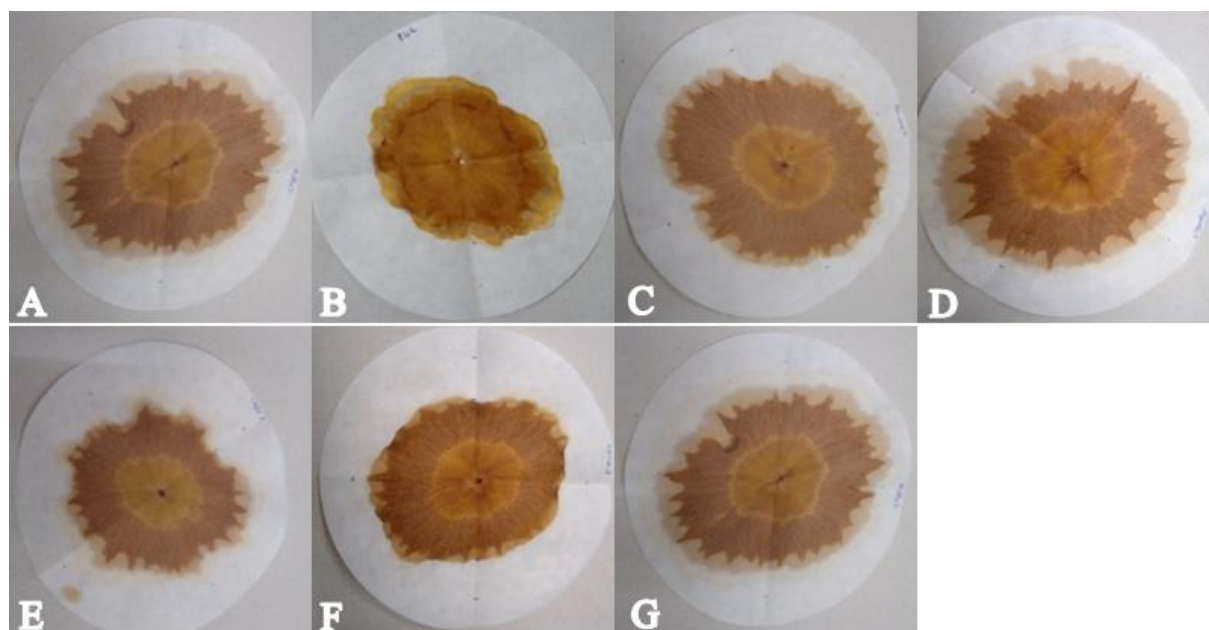
Na referência a mata nativa, milho e algodão observou-se formação de quatro zonas. Na banana observou-se três zonas. Ao analisar as cores nos cromatogramas (Figura 3), salienta-se que quanto mais claro (amarelo, cores vivas) melhor é a biologia do solo, ou seja, mais saudável é o ambiente. E quanto mais escuro ou preto, tons marrons escuros, menor atividade biológica e mais deficiente em oxigênio é o solo. As cores das zonas dos cromatogramas demonstraram haver diferenças na saúde biológica do solo sendo que no café, milho, algodão e cana-de-açúcar a zona intermediária apresentou-se mais escura que na mata, e em alguns cromatogramas a zona intermediária sobrepôs as outras.

As zonas centrais dos cromatogramas de todas as culturas apresentaram-se amarelas indicando boas condições de metabolismos microbianos aeróbicos. Cores pretas nestas zonas seria indicativo de mal uso do solo com tendência a compactação, o qual não foi verificado.

Outra característica cromatográfica da ZC é o seu tamanho. Quando a ZC apresenta dimensões muito pequenas ou excessivamente grandes em relação às demais regiões cromatográficas, isso pode indicar uma condição inadequada do solo em termos de fertilidade. Nos tratamentos analisados, o tamanho da ZC variou entre 4,5 e 7 cm, sugerindo que todos os solos avaliados possuem uma qualidade mediana.

A zona intermediária encontra-se integrada com a zona central, o que significa que há integração entre parte biológica e minerais no solo. As cores escuras indicam algum tipo de degradação no solo, sendo mais evidentes no café e na cana-de-açúcar. Pode ser que naqueles cultivos utilizaram-se de mecanização pesada, e a matéria orgânica seja de qualidade inferior.

Figura 3 - Cromatogramas: Mata nativa (a) e Culturas de: eucalipto (b), banana (c), algodão (d), café (e), cana (f) e milho (g).



As zonas mais internas dos cromatogramas são associadas à capacidade de aeração e retenção de umidade do solo, fatores diretamente relacionados à sua estruturação, influenciada pela atividade dos microrganismos. Além disso, essa região pode refletir o impacto das práticas de manejo adotadas, como o uso de máquinas agrícolas e o grau de revolvimento e compactação do solo (Graciano *et al.*, 2020). A presença de linhas radiais claras que se estendem a partir do centro do cromatograma indica uma boa aeração do solo,

sugerindo condições favoráveis para o desenvolvimento das culturas. Todavia, a ausência dessas linhas radiais indica que a aeração do solo, e consequentemente sua capacidade de retenção de umidade, está comprometida. Isso sugere que o solo pode estar submetido a um manejo inadequado, favorecendo a compactação e dificultando o desenvolvimento adequado das culturas.

A mata nativa, o milho e o algodão apresentaram uma zona externa mais evidente, porém estreita. Em solos férteis, essa zona externa bem definida reflete a presença de alta diversidade e abundância de nutrientes essenciais. Contudo, a pouca expressividade dessa zona em algumas amostras pode ser atribuída a fatores externos, como a aplicação de agrotóxicos e outros produtos químicos. Na área experimental, foi observada uma erosão significativa, que pode ter contribuído para a deposição desses compostos químicos até mesmo na área de mata nativa, afetando negativamente a fertilidade e a saúde biológica do solo.

Segundo Melo *et al.* (2019), a presença de cores amarelas na zona central dos cromatogramas é indicativa de boas condições para o desenvolvimento da macrofauna do solo. No entanto, os resultados deste estudo mostraram que, embora a zona intermediária apresente condições aceitáveis, ela demonstra baixa disponibilidade de matéria orgânica e uma atividade enzimática limitada. Essa condição, de acordo com Rivera e Pinheiro (2011), pode indicar problemas relacionados à atividade microbiana, além de comprometer o metabolismo de elementos essenciais, como carbono, enxofre e nitrogênio.

Os achados deste estudo estão em consonância com os resultados de Melo *et al.* (2019), que observaram melhores condições em solos de floresta, enquanto os agroecossistemas apresentaram índices cromatográficos considerados apenas suficientes. Ainda assim, os melhores resultados em termos de cores claras e maior dimensão das zonas nos cromatogramas foram observados em áreas de agroecossistemas que permaneceram em repouso por períodos mais longos, favorecendo a regeneração natural do solo.

De forma similar, Reis e Melo (2020) e Razera *et al.* (2022), ao analisarem cromatogramas de solos cultivados e de mata nativa, também encontraram resultados medianos, indicando que, embora as condições dos solos cultivados sejam suficientes para o crescimento vegetal, ainda há margem para melhorias no manejo, especialmente em relação à recuperação da fertilidade e à promoção da biodiversidade microbiana. Esses dados reforçam a importância de práticas de manejo que priorizem a conservação do solo, como a rotação de culturas, o plantio direto e a redução do uso de insumos químicos, para promover um ambiente mais equilibrado e sustentável.

Conclusões

O eucalipto e a banana por estarem em pousio, a longo prazo, podem atuar como reservatório de carbono mitigando a emissão de gases poluentes para a atmosfera.

Na cromatografia os resultados foram satisfatórios para saúde biológica do solo, mas com intervenções no sistema de manejo das culturas podem ser alcançados maiores benefícios, como aumento de sequestro de carbono, e condições edáficas favoráveis a microbiota.

É importante salientar que no trabalho foi quantificado o carbono total presente no solo de cada área sob manejo, mas essa análise não especifica o tipo de material orgânico existente, podendo ser molécula pequena ou grande, pesada ou leve, ácido húmico, humina, dentre outros ácidos orgânicos. Portanto sugere-se que em trabalho futuro seja realizada uma identificação (caracterização) das moléculas orgânicas presentes para que se possa analisar com detalhes os efeitos dos manejos nos aportes de carbono do solo.

A cromatografia se mostrou ser uma técnica simples, de baixo custo, rápida e com resultados satisfatórios para tomada de decisões em campo, portanto, sugere-se seu uso por parte de pequenos produtores rurais para avaliação da qualidade biológica de seus solos.

Referências

AGÊNCIA EUROPEIA AMBIENTAL. **O solo e as alterações climáticas**. Agencia Europea do Ambiente, 2021. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/pt/sinais-da-aea/sinais-2015/artigos/o-solo-e-as-alteracoes-climaticas>. Acesso em: 20 jun. 2022.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711 – 728, 2013.

ALVAREZ, R. A. Review of nitrogen fertilizer and conservation tillage effects on soil organic carbon storage. **Soil Use and Management**, v. 21, p. 38-52, 2005.

BRIEDIS, C.; SÁ, J. C. M.; CAIRES, E. F.; NAVARRO, J. F.; INAGAKI, T. M.; FERREIRA, A. O. Carbono do solo e atributos de fertilidade em resposta à calagem superficial em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 1007-1014, 2012.

CARDUCCI, C. E.; VITORINO, A. C. T.; SERAFIM, M. E.; SILVA, E. A. Aggregates morphometry in a Latosol (Oxisol) under different soil management systems. **Semina: Ciências Agrárias**, v.37, n.1, p.33-41, 2016.

COGO, F. D.; PAIVA, M. F.; SILVA, L. F.; SOUSA, L. F. Estoque de carbono orgânico e atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-floresta com eucalipto no Cerrado Mineiro. **Research, Society and Development**, v. 1, n. 3, 2022.

DI RIENZO, J. A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M. G.; GONZÁLEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C. W. **InfoStat: versão 2012**. [Programa de computador]. Córdoba: Grupo InfoStat, Universidad Nacional de Córdoba, 2012. Disponível em: <http://www.infostat.com.ar>. Acesso em: 04 dez. 2022.

EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA). **Manual de métodos de análise de solo, plantas e fertilizantes**. 3. ed. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas, 2009. 627 p.

FERREIRA, E. A. B. **Dinâmica de longo prazo do carbono do solo em sistemas de manejo no cerrado**. 2013. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2013..

GONÇALVES, C. N.; CERETTA, C. A. Plantas de cobertura de solo antecedendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 307-313, 1999.

GRACIANO, I.; MATSUMOTO, L. S.; BUENO, G.; DEMÉTRIO, E.; PEIXOTO, E. M. Avaliação da Cromatografia de Pfeiffer para sua validação como indicador da qualidade do solo. **Journal of Agricultural Studies**, v. 8, n. 3, p. 420-446, 2020.

GREGORICH, E. G.; ROCHETTE, P.; VANDENBYGAART, A. J.; ANGERS, D.A. Greenhouse gas contributions of agricultural soils and potential mitigation practices in Eastern Canada. **Soil and Tillage Research**, v. 83, p. 53-72, 2005.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2019. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em: 25 Jun. 2022.

IPCC. **Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change**. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2007.

JANTALIA, C. P.; RESCK, D. V. S.; ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Tillage effect on C stocks of a clayey Oxisol under a soybean-based crop rotation in the Brazilian Cerrado region. **Soil and Tillage Research**, v.95, p.97-109, 2007.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.133-146, 2009.

MELO, D. M. A.; REIS, E. F.; COARACY, T. N.; SILVA, W. A. O.; ARAÚJO, A. E. Cromatografia de Pfeiffer como indicadora agroecológica da qualidade do solo em agroecossistemas. **Revista Craibeiras de Agroecologia**, v. 4, n. 1, 2019.

NOVAES, W. O. F.; DINIZ, M. A. N.; SANTOS, D. G. dos; MEIDEIROS, M. G.: Estudo da cromatografia de Pfeiffer como alternativa agroecológica para análise de solos. Cadernos de Agroecologia. **Anais do VI CLAA, X CBA e V SEM**. DF: v. 13, nº 1, Jul. 2018.

OLIVEIRA, J. T.; RUIZ, H. A.; SCHAEFER, C. E. G. R.; OLIVEIRA, N. M.; FERNANDES, R. B. A.; COUTO, M. R. de A. físicas e carbono orgânico de solos sob diferentes tipos de uso da terra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2821-2829,

2008.

PEDROSA, M. G. **Culturas Anuais**. / NT Editora. -- Brasília: 2014. 161p.: il. Disponível em:

<https://avant.grupont.com.br/dirVirtualLMS/portais/livros/pdfs_demo/Culturas_Anuais_demo.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2025.

PINHEIRO, S. **Cartilha da saúde do solo (cromatografia de Pfeiffer)**. Porto Alegre: Salles, 2011. 120 p. Disponível em: https://projetopampa.fld.com.br/modules/blog/datafiles/FILE_1EAF04-9AC0F7-5E3BD1-B9DF4A-B81FBD-67069B.pdf. Acesso em: 20 mar. 2025.

PIVETTA, M. **O uso do solo e as mudanças climáticas**. Pesquisa FAPESP, v. 283, p. 56-59, 2019. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/o-uso-do-solo-e-as-mudancas-climaticas/>>. Acesso em: 20 jun. 2022.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Instituto Agrônomo Campinas, 2001. 285p.

RAZERA, R.; VAZ, A. R.; BASTOS, A. C. V.; DUARTE, I. C. S.; FRANCO, F. S. Avaliação da qualidade do solo em manejo agroflorestal utilizando a cromatografia circular de Pfeiffer e indicadores microbiológicos. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 16, n. 2, 2022.

REIS, E. F.; MELO, D. M. A. Qualidade do solo através da cromatografia de Pfeiffer em subsistemas experimentais com diferentes usos. Cadernos de Agroecologia - **Anais** do XI Congresso Brasileiro de Agroecologia, São Cristóvão, Sergipe - v. 15, no 2, 2020. Disponível em: <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/5030>. Acesso em: 23 mar. 2025.

RESTREPO, J.; PINHEIRO, S. **Cromatografía imágenes de vida y destrucción del suelo**. Cali, Colombia: COAS editores, 2011.

RIVERA, J. R.; PINHEIRO, S. **Cromatografía: Imagenes de vida y destrucción del suelo**. Cali: Feriva, 2011. 252 p.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs>. Acesso em: 20 mar. 2025.

SECRETTI, M. L. **Aporte de carbono ao solo por sistemas de monocultura, sucessão e rotação de culturas**. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Federal da Grande Dourados, 2017.

SILVA, E. A.; OLIVEIRA, G. C.; CARDUCCI, C. E.; SILVA, B. M.; SERAFIM, M. E. Aggregates morphometry of an Inceptisol under conservationist system. **Semina: Ciências Agrárias**, v.37, n.3, p.1165-1176, 2016.