



TEORES E ESTOQUES DE CARBONO NO SOLO EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIOS: 14 ANOS NO BIOMA CERRADO¹

Manuel Claudio Motta Macedo², Roberto Giolo de Almeida³, Alexandre Romeiro de Araujo⁴, Ademir Fontana⁵

¹Projeto financiado pela Embrapa, CNPq, FUNDECT, FINEP, Associação Rede ILPF, IABS.

² Pesquisador, PhD, Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS. manuel.macedo@embrapa.br

^{3,4,5} Pesquisador, Dr. Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS

Resumo: A degradação das pastagens e a emissão de gases de efeito estufa (GEEs) são desafios presentes na agropecuária brasileira. Recuperar pastagens degradadas e propor sistemas de produção mais eficientes na remoção e/ou compensação desses gases é meta prioritária do Brasil como iniciativas de adaptação e mitigação. A manutenção e/ou incremento do carbono do solo (C) são fundamentais para um balanço negativo dessas emissões. Neste trabalho, são apresentados teores e estoques de C no solo em sistemas integrados de lavoura-pecuária (ILP) e lavoura-pecuária-floresta (ILPF), como possíveis alternativas a esses problemas. Foram testados, em um Latossolo do bioma Cerrado, um sistema de ILP e dois sistemas de ILPF. No primeiro, os cultivos foram de lavoura de soja, seguidos por pastagem de *Brachiaria brizantha*, e no segundo e terceiro, cultivo de soja, seguido da pastagem, mas intercalados por linhas simples de eucalipto, espaçadas de 14 e 22 metros, respectivamente. Uma área contígua de vegetação natural (VN) foi utilizada como referência. Os sistemas de ILP e ILPF, diferiram significativamente entre si, para teores e estoques de C, sendo os sistemas ILP e ILPF-22 os mais efetivos no acúmulo de C. ILP foi superior a VN em algumas profundidades. Teores e estoques de C variaram significativamente com a profundidade, em todos os sistemas, decrescendo com a profundidade. Houve interação significativa entre sistemas e anos, assim como efeito entre anos. Conclui-se que sistemas integrados podem ser uma alternativa para a mitigação de GEEs, assim como para a recuperação de pastagens degradadas.

Palavras-chave: Manejo do solo; Qualidade do solo; Matéria orgânica; Sistemas integrados.

Introdução

A degradação das pastagens e a emissão de gases de efeito estufa (GEEs) na agropecuária são desafios para uma produção agropecuária sustentável. Recuperar pastagens degradadas e sistemas de produção mais eficientes na remoção e/ou compensação desses gases é meta prioritária do Brasil na agenda de várias políticas públicas (BRASIL, 2021). A manutenção e/ou acréscimo dos estoques de carbono do solo (C) são fundamentais para a sustentabilidade. Este trabalho teve como objetivo avaliar diferentes sistemas de ILP e ILPF, tendo a vegetação natural como referência, e testar alternativas que possam minimizar as perdas e aumentar os estoques de carbono do solo após a recuperação de pastagens degradadas no bioma Cerrado.



Metodologia

O experimento foi conduzido na Embrapa Gado de Corte, em Campo Grande, MS, Brasil, bioma Cerrado, pertencente segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, à faixa de transição entre Cfa e Aw tropical úmido, com precipitação média anual de 1.560 mm. O experimento foi conduzido em uma área de pastagem degradada recuperada (20° 26' S, 54° 43' W, 530 m) desde 2008/09 e avaliado até 2022. O solo local é classificado como um Latossolo Vermelho distrófico, textura argilosa, ácido e com baixa fertilidade. As práticas agrícolas adotadas na área experimental e os resultados de produtividade forrageira, agrícola e animal estão descritos em Oliveira et al. (2014) e Pereira et al. (2019, 2021). Os tratamentos foram os seguintes: ILP (integração lavoura-pecuária (sem árvores), ILPF14-28 (integração lavoura-pecuária-floresta com linha única de árvores, espaçadas de 14 m com 357 árvores ha⁻¹, 75% das árvores removidas em 2017, deixando linhas com 28 m de distância e 89 árvores ha⁻¹) e ILPF22 (integração lavoura-pecuária-floresta com linhas de árvores espaçadas de 22 m, com 227 árvores ha⁻¹, 50% das árvores removidas em 2017, restando 113 árvores ha⁻¹) ambos compostos de *Eucalyptus urograndis*, clone H13. A soja foi cultivada convencionalmente em 2008/09 e em plantio direto em 2012/13 e 2017/2018. Pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã foram cultivadas entre eucaliptos, após a soja. Dois transectos em linhas (uma próxima às linhas de árvores e outra entre as linhas), compostas por 10 amostras únicas de solo/transecto, foram coletadas em diferentes profundidades: 0 a 5; 5 a 10; 10 a 20; 20 a 30 e 30 a 50 cm, e analisadas para C total em um autoanalisador LECO CN628. Uma equação para estimar a densidade do solo (DS) para todos os anos foi estabelecida para calcular os estoques e de carbono do solo: $DS = 1,2898 - (0,0131 * \text{Argila}) - (0,10868 * \text{Carbono}) + (0,1240 * \text{pHCaCl}_2)$ (MACEDO et al., 2021). Os dados de estoques de carbono, obtidos por meio desses cálculos, foram corrigidos pela DS da vegetação nativa (CARVALHO et al., 2009). A análise estatística seguiu um delineamento de blocos ao acaso, sendo os tratamentos distribuídos em sub-parcelas, com os sistemas de produção alocados na parcela principal, as profundidades do solo nas sub-parcelas, e os anos nas sub-sub parcelas. As médias dos efeitos principais foram testadas segundo o teste de Waller Duncan, a nível de 5% de probabilidade.



Resultados e Discussão

Os teores e estoques de C do solo apresentaram diferenças significativas entre sistemas de produção e anos ($p < 0,001$), com interação entre anos e sistemas ($p < 0,05$), vide comparação de médias dos efeitos principais na Tabela 1. Resultados semelhantes foram observados por ALMEIDA et al. (2023), na profundidade de 0 a 20 cm. A menor produtividade de biomassa de forragem do ICLF14-28 observada no local por PEREIRA et al. (2021) e, consequente menor sistema radicular, pode ter contribuído para menores teores de C nos sistemas de ILPF. O espaçamento entre linhas de árvores de 22 m favoreceu a produção de forragem, em comparação ao ICLF14-28. A remoção de árvores no ILPF14-28, com espaçamento de 28 m, não foi tão eficaz quanto o esperado, provavelmente, devido a incêndio acidental em algumas parcelas em 2019 que comprometeu o manejo da pastagem. Foram observados efeitos significativos entre os anos ($p < 0,0001$) nos teores e estoques de C, provavelmente devido à variação na precipitação, temperatura e manejo do solo relacionados às operações agrícolas e pecuárias. Os estoques de C do solo medidos de 2008 a 2022 (Figuras 1 e 2) foram altamente significativos ($p < 0,0001$) entre sistemas e anos, assim como a interação entre eles ($p < 0,05$). O ILP atingiu, em 2022, estoques de C de $94,2 \text{ Mg ha}^{-1}$, em comparação ao ILPF22 e ILPF14-28, com $85,9$ e $75,1 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente. Maiores estoques de C para o ILP são atribuídos à maior permanência da forragem a pleno sol e à textura argilosa do solo. Os estoques de C calculados para diferentes profundidades apresentados nas Figuras 1 e 2, permitem comparação entre vários critérios que consideram o C do solo como potencial alternativa de mitigação.

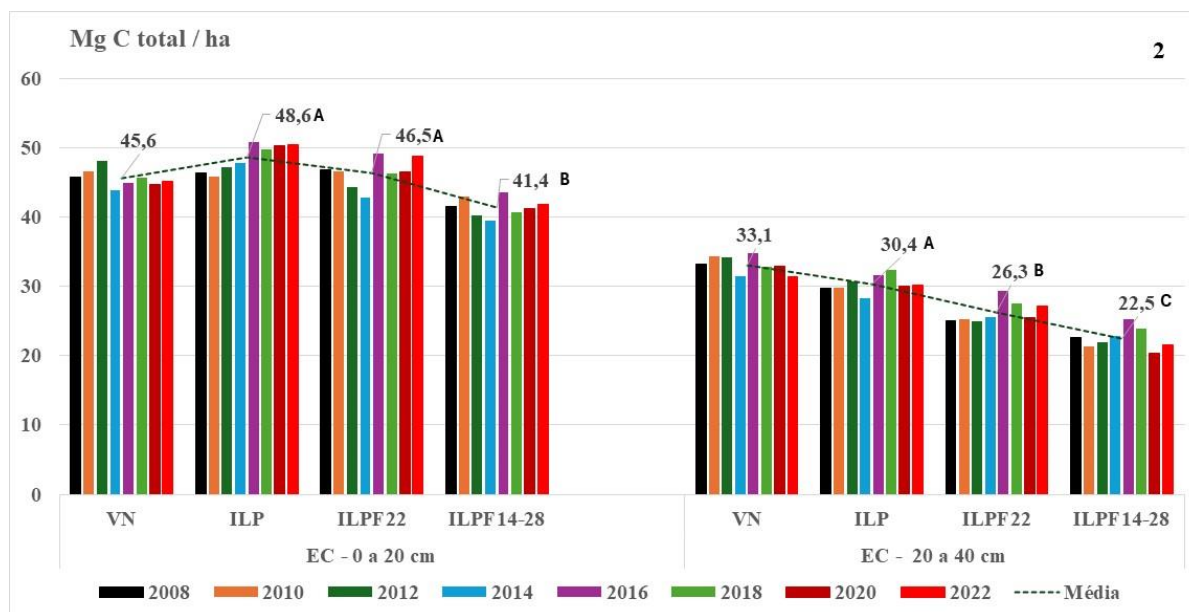
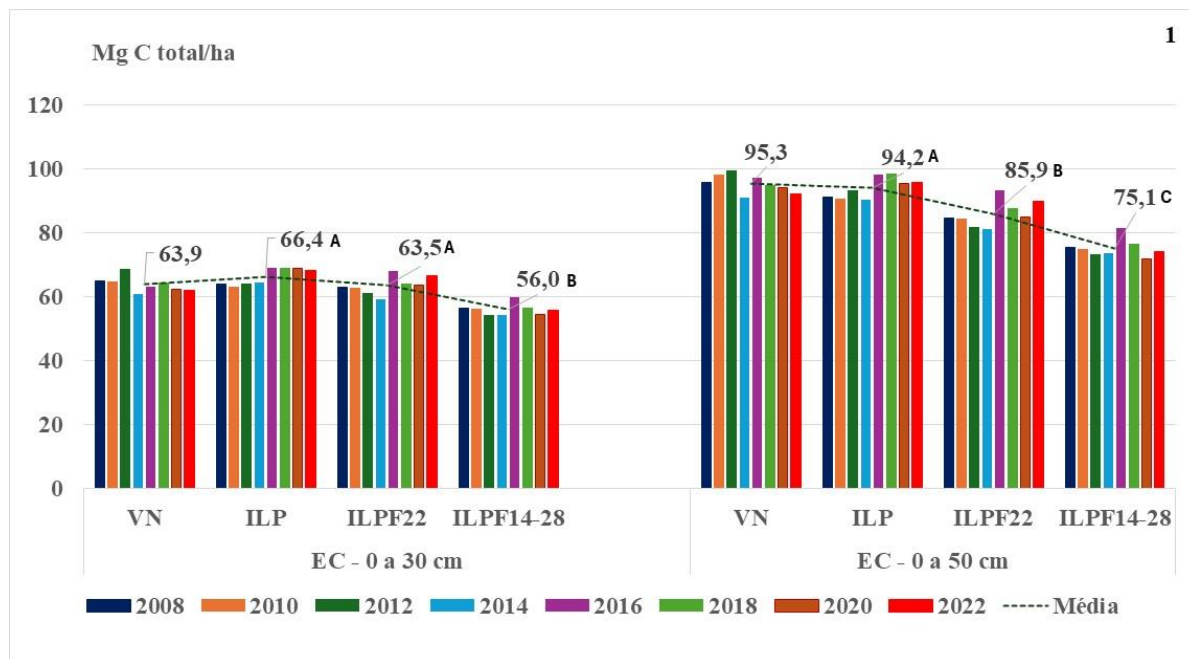
Tabela1. Teores percentuais de C no solo, média de cinco profundidades, de 0 a 50 cm, em diferentes sistemas integrados de produção e na vegetação nativa (VN).

SIST.	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2020	2022	Média
				g C total /100 g de solo					
ILP	1,76	1,68	1,71	1,70	1,86	1,84	1,79	1,85	1,78A
ILPF22	1,65	1,62	1,56	1,52	1,77	1,66	1,63	1,76	1,65B
ILPF14-28	1,37	1,36	1,30	1,27	1,44	1,34	1,30	1,38	1,34C
Média	1,59bc	1,55de	1,52ef	1,50f	1,69a	1,61b	1,57cd	1,66a	1,59
VN	1,96	1,98	2,08	1,79	1,96	1,90	1,89	1,92	1,93

Valores com as mesmas letras nas linhas ou nas colunas não são significativos, quando comparados pelo teste de Waller Duncan a 5% de probabilidade.



Figuras 1 e 2. Estoques de C, em diferentes profundidades do solo e em diferentes sistemas integrados de produção e na vegetação nativa (VN).



Médias dos sistemas com as mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Waller Duncan a 5% de probabilidade. Dados da VN utilizados apenas como referência de equivalência de massa de solo.



Conclusões

O sistema ILP apresenta maiores teores e estoques de C no solo, em comparação aos sistemas ILPF22 e ILPF14-28, respectivamente, após 14 anos de manejo do solo. Devido à menor competição por luz, água e nutrientes, o sistema ILP pode ser uma fonte maior de matéria orgânica para o carbono do solo do que sistemas de ILPF, sobretudo nesses arranjos espaciais entre as árvores. O ILP é um sistema promissor para auxiliar na mitigação de gases de efeito estufa na produção pecuária de baixo carbono, quando se considera apenas o carbono do solo.

Referências

- ALMEIDA, R. G.; MACEDO, M. C. M.; ARAÚJO, A. R. Soil carbon concentration and soil carbon stocks in integrated crop-livestock and crop-livestock-forestry systems in the Brazilian Cerrado - 14 years of establishment. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEMS, 4, 2023, Bento Gonçalves, RS. **Conference Proceedings...** Bento Gonçalves, RS: Aliança SIPA, 2023. v. 1. p. 242-247
- CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. C.; GODINHO, V. P.; CERRI, C. C. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. **Soil and Tillage Research**, v. 103, p. 342-349, 2009.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano setorial para adaptação à mudança do clima e baixa emissão de carbono na agropecuária com vistas ao desenvolvimento sustentável (2020-2030): visão estratégica para um novo ciclo. Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação. Brasília, DF: MAPA, 2021.
- MACEDO, M. C. M.; ARAÚJO, A. R.; ALMEIDA, R. G. Soil carbon stocks in integrated crop-livestock and crop-livestock-forest systems in the Brazilian Cerrado. In: WORLD CONGRESS ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK-FORESTRY SYSTEMS, 2, 2021. **Proceedings...** Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2021. p. 116-120.
- OLIVEIRA, C. C.; VILLELA, S. D. J.; ALMEIDA, R. G.; ALVES, F. V.; BEHLING NETO, A.; MARTINS, P. G. M. A. Performance of Nellore heifers, forage mass, and structural and nutritional characteristics of *Brachiaria brizantha* grass in integrated production systems. **Tropical Animal Health and Production**, v. 46, p. 167-172, 2014.
- PEREIRA, M. A.; ALMEIDA, R. G.; LAURA, V. A.; COSTA, F. P.; ALVES, F. V. Carbon Neutral Brazilian Beef: an analysis of its economic viability for livestock sustainable intensification. In: INTERNATIONAL FARM MANAGEMENT CONGRESS, 22, 2019. **Proceedings...** Launceston, Australia: IFMA, 2019. p. 1-13.
- PEREIRA, M.; MORAIS, M. G.; FERNANDES, P. B.; SANTOS, V. A. C.; GLATZLE, S.; ALMEIDA, R. G. Beef cattle production on Piatã grass pastures in silvopastoral systems. **Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales**, v. 9, n. 1, p. 1-12, 2021.