

ESTOQUES DE CARBONO DE UM PLANOSOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA NA PLANÍCIE COSTEIRA INTERNA DO RS

Robson Bosa dos Reis¹; Cimélio Bayer²; Claudia Liane Rodrigues De Lima³; Jakeline Rosa De Oliveira⁴; Filipe Selau Carlos⁵

Palavras-chave: Matéria orgânica do solo; carbono do solo; gestão da conservação; intensificação sustentável; *Oryza sativa* L.

Introdução

Básico e fundamental na nutrição diária de bilhões de pessoas, o arroz é historicamente uma das culturas agrícolas mais produzidas em todo o mundo, e consequentemente um cultivo capaz de afetar a dinâmica dos ambientes (Chivenge *et al.*, 2021). No Brasil, em áreas subtropicais, 70% do arroz produzido é cultivado em terras baixas, encontradas principalmente no extremo sul do país (CONAB, 2021). No local, historicamente, predomina-se o monocultivo do arroz irrigado por inundação (Sousa *et al.*, 2021). Esses cultivos estão embasados em práticas convencionais, que basicamente envolvem o revolvimento do solo pré-semeadura do arroz.

Modificações intensas no solo, decorrentes de manejos inadequados, comprometem os ciclos bioquímicos naturais, resultando em perdas significativas para o sistema produtivo. Embora seja essencial suprir a crescente demanda global por alimentos, os sistemas agrícolas devem ser manejados de forma eficiente e sustentável, visando à preservação dos recursos naturais e à mitigação das mudanças climáticas. Nesse contexto, os solos desempenham um papel estratégico, pois representam o maior reservatório terrestre de carbono (C), sendo fundamentais no equilíbrio dos gases de efeito estufa e na redução dos impactos ocasionados pelas variações climáticas em nosso planeta.

A conversão de ecossistemas naturais em agroecossistemas simplificados, por meio de práticas agrícolas convencionais, tem sido associada à perda e degradação do C orgânico do solo (Poeplau *et al.*, 2018). No entanto, a adoção de manejos mais sustentáveis surge como uma estratégia promissora para reverter esse cenário e ampliar o acúmulo de C nos sistemas produtivos. Entre essas práticas, destacam-se os sistemas conservacionistas, especialmente aqueles que integram lavoura e pecuária (ILP).

Estudos conduzidos por Piva *et al.*; Liebig *et al.* (2020) evidenciaram o aumento dos teores de C em áreas manejadas sob ILP. No entanto, ainda são escassas as informações sobre os efeitos da adoção desses sistemas em zonas de produção de arroz no sul do RS, especialmente no que se refere às alterações nos estoques fracionados e total do C no solo.

Dessa forma, o estudo teve como objetivo avaliar o estoque de carbono total e fracionado do solo em um experimento de médio prazo sob diferentes sistemas integrados de produção agropecuária envolvendo arroz irrigado em terras baixas sob plantio direto, em um Planossolo no sul do Brasil.

Material e Métodos

A pesquisa foi conduzida na Fazenda Corticeiras, município de Cristal, estado do Rio Grande do Sul (31°37'13"S, 52°35'20"W). No local, de acordo com a classificação climática de Köppen, o clima é Cfa, com verão quente e úmido. O solo da área é classificado como Planossolo

¹ Mestrando no PPG em MACSA, UFPel. Av. Eliseu Maciel S/N; robsonbosareis@hotmail.com

² Professor, Departamento de solos, UFRGS; cimelio.bayer@ufrgs.br

³ Professora, Departamento de solos, FAEM/UFPel; cirlima@yahoo.com.br

⁴ Professora, Departamento de solos, FAEM/UFPel; jakeliner.oliveira@hotmail.com

⁵ Professor Adjunto, Departamento de Solos, FAEM/UFPel; filipeselaukarlos@hotmail.com

Háplico Eutrófico solódico (Santos *et al.*, 2018). Previamente a instalação do experimento o solo foi preparado convencionalmente com arado seguido de duas gradagens niveladoras. Após a correção, foram implantadas as SIPAS, em um delineamento de blocos casualizados, com três repetições, totalizando 15 unidades experimentais com área média de 1,1 ha cada. A área de estudo possui 18 hectares e esteve em pousio por três anos antes da implantação do ensaio iniciado em 2013. O ensaio foi conduzido durante dois ciclos, cada um com duração de quatro anos: 2013-2016 e 2017-2020. As combinações de SIPA incluíram: (S1) – Monocultivo de arroz irrigado (*Oryza sativa* L.) e pousio no inverno (restava de arroz e vegetação espontânea); (S2): cultivo anual de arroz no verão e azevém (*Lolium multiflorum*) no inverno; (S3): Rotação anual entre arroz e soja (*Glycine max*) no verão e cultivo de azevém no inverno; (S4): englobando um ciclo, rotação entre arroz, soja, milho (*Zea mays*) e capim sudão (*Sorghum sudanense*) no verão e pastagem de azevém e trevo branco (*Trifolium repens*) no ano de 2013 ou azevém e trevo persa (*Trifolium resupinatum* L.) nos anos de 2014 até 2019 no período hibernal. Neste sistema, o capim sudão é utilizado como forrageira em pastejo no verão; e (S5): englobando um ciclo, no verão campo de sucessão durante três anos e um com arroz irrigado, enquanto no inverno cultivo de azevém + trevo branco + cornichão (*Lotus corniculatus* L.). Com exceção de S1, nos demais tratamentos houveram pastejo animal no período hibernal, três animais de mais ou menos 150-200kg por unidade experimental. Em contrapartida, apenas em S1, houve revolvimento do solo, com preparo convencional (grade e arado) sendo realizado anualmente em meados do mês de maio. As amostras de solo foram coletadas em outubro de 2020, oito anos após a instalação do experimento, nas profundidades 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-15, 15-20 e 20-40 cm. Foram coletadas, em cada unidade experimental, 16 subamostras, formando 4 repetições (amostras) completas/finais de solo. Os estoques de C estratificados foram calculados com base no método do equivalente massa (Ellert & Bettany, 1995) em cada profundidade analisada, de acordo com a equação:

$$\text{Estoque de C (Mg ha}^{-1}\text{)} = \frac{C(g kg}^{-1}\text{) } \times Ds(Mg m}^{-3}\text{) } \times \left(\frac{Ds \text{ ref.}}{Ds} * E \right)}{10}$$

onde:

C = Concentração de C (g kg⁻¹); Ds = Densidade do solo (Mg m⁻³); Ds ref. = Densidade do solo Referência (Mg m⁻³) - em nosso estudo utilizamos o S1 como referência; e E = Espessura da camada avaliada (m).

Em um mesmo sistema, os estoques totais de C foram quantificados através do somatório dos valores encontrados em cada profundidade avaliada. A distribuição normal dos dados foi avaliada utilizando o teste de Shapiro-Wilk. Obedecendo os pressupostos de normalidade, as variáveis estudadas foram submetidas à análise de variância (ANOVA), e quando significativa ($p < 0,05$) os dados foram submetidos ao teste Duncan (0,05). As análises estatísticas foram feitas com suporte do programa estatístico R®.

Resultados e Discussão

Os estoques de C variaram conforme os sistemas integrados de ILP adotados (Figura 1). Em termos médios, os tratamentos S2 (103,4 Mg ha⁻¹) e S5 (115,9 Mg ha⁻¹) apresentaram os maiores valores de C total, superando significativamente os sistemas S1, S3 e S4, que registraram 78,1, 79,4 e 82,4 Mg ha⁻¹, respectivamente. Esses resultados representam um acúmulo médio adicional de 37,1% (equivalente a 29,7 Mg ha⁻¹) em relação aos sistemas menos eficientes (Figura 1). Os resultados obtidos em S2 e S5 podem ser atribuídos ao manejo dos sistemas, que foi realizado sem perturbação do solo (plantio direto), com cultivos combinados de grãos em sucessão com pastagens, e em especial a qualidade e o volume de biomassa acima e abaixo do solo que as gramíneas, e de modo especial arroz e azevém, conseguem proporcionar para o sistema anualmente. Quando implementadas de forma conjunta, essas práticas conservacionistas possibilitam mais benefícios a qualidade do solo do que a adoção isolada, propiciando maior acúmulo de C (Anghinoni *et al.*, 2013; Carvalho *et al.*, 2010). Não menos importante, em campos

com ILP, a presença dos animais influência a dinâmica do meio, uma vez o pastejo induz o crescimento radicular das forragens, através da indução ao perfilhamento nos tecidos vegetais pastejados (Anghinoni *et al.*, 2013).

De modo estratificado, as análises realizadas mostraram que o sistema S5 promoveu os maiores estoques de C em todas as camadas avaliadas, com diferenças estatisticamente significativas em relação aos demais tratamentos (S1-S4). Na camada superficial (0–0,025 m), todos os sistemas integrados apresentaram aumentos significativos de C quando comparados ao monocultivo (S1), destacando-se o S5, com acúmulo de 11,7 Mg ha⁻¹, o que representa um incremento de 5,5 Mg ha⁻¹ em relação ao sistema convencional. Na profundidade de 0,025–0,05 m, o tratamento S5 também obteve destaque, com 10,4 Mg ha⁻¹, sendo estatisticamente superior ao S1 (8,0 Mg ha⁻¹), embora não tenha diferido dos tratamentos S2 (8,0 Mg ha⁻¹), S3 (7,7 Mg ha⁻¹) e S4 (8,2 Mg ha⁻¹). Nas camadas subsequentes (0,05–0,1; 0,1–0,15 e 0,15–0,2 m), o tratamento S5 manteve-se como o mais eficiente, com estoques de 16,9; 16,5 e 15,9 Mg ha⁻¹, respectivamente, apresentando valores significativamente superior em relação aos sistemas S1, S3 e S4 (Figura 1). Os valores encontrados para S5 muito provavelmente estão atrelados a ampla gama de cultivos e manejos conservacionistas presentes em ambos, o que potencializou a diversidades de espécie presentes no local, refletindo em incrementos para o perfil do solo. De modo similar, na profundidade agregada de 0,05–0,2 m, o sistema S2 também demonstrou desempenho relevante, com maiores estoques de carbono principalmente em comparação aos sistemas S3 e S4. Ambos os sistemas (S2 e S5) evidenciaram um padrão de acúmulo contínuo de C ao longo do perfil do solo, o que contribuiu para o aumento do estoque total. Em camadas mais profundas (0,2–0,4 m), os maiores estoques de C também foram observados nos tratamentos S2 (40,2 Mg ha⁻¹) e S5 (44,5 Mg ha⁻¹), representando um acréscimo médio de 38,1% (11,7 Mg ha⁻¹) em relação aos tratamentos S1 (32,5 Mg ha⁻¹), S3 (28,9 Mg ha⁻¹) e S4 (30,6 Mg ha⁻¹) (Figura 1a). A grande maioria do C do solo é fornecido pela biomassa formada no perfil do solo, sendo que campos de sucessão produzem maior quantidade de raízes em comparação com áreas cultivas com culturas anuais, aumentando a atividade microbiológica e favorecendo o teor de C lável (DuPont *et al.*, 2014).

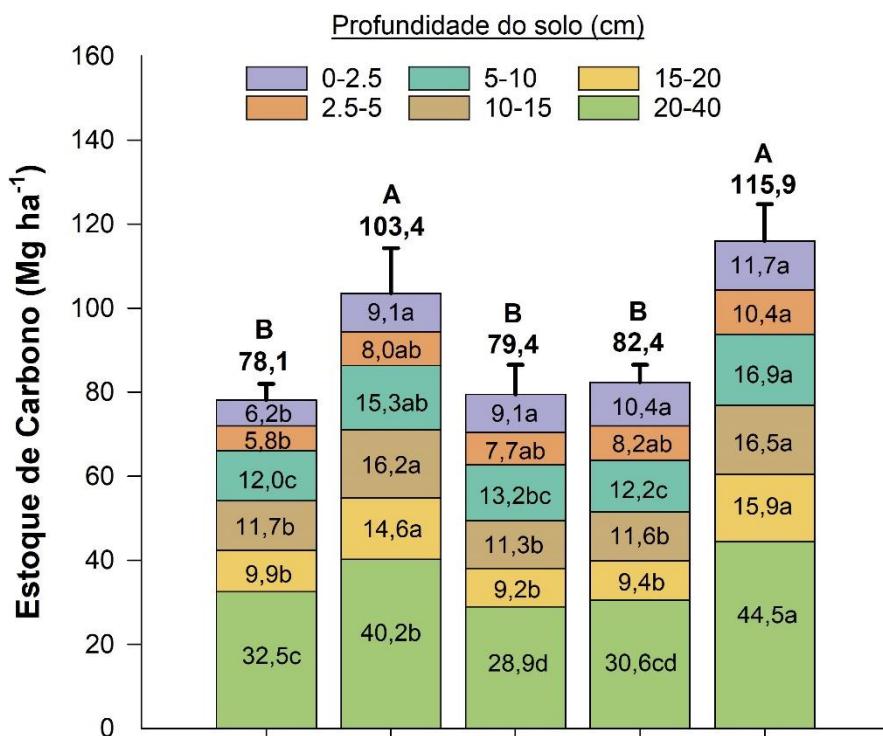


Figura 1. Estoque total e fracionado de carbono em um Planossolo, 8 anos após a adoção de diferentes sistemas de cultivo de arroz no sul do Brasil. Letras minúsculas diferentes representam

efeito significativo entre tratamentos dentro de uma mesma camada do solo, enquanto as maiúsculas representaram variação significativa entre o estoque total (0-0.4m) de acordo com o teste de Duncan ($p < 0,05$). S1: monocultivo de arroz; S2: integração arroz-azevém/gado de corte; S3: rotação soja/arroz-azevém/gado de corte; S4: variação anual entre arroz/soja/milho/capim sudão-azevém+trevo branco ou trevo persa/ pecuária de corte; S5: 3 anos de campo de sucessão/1 anos de arroz irrigado - azevém+trevo branco+cornicão/pecuária de corte.

Conclusões

A adoção de sistemas de integração agropecuária que envolvem o cultivo de arroz em sucessão de alta diversidade e com o uso de azevém sob pastejo no período hibernal, aumenta os estoques de carbono em Planossolos, quando comparados ao sistema tradicional de monocultivo de arroz praticado na região sul do Rio Grande do Sul.

Referências

- Anghinoni, I., Carvalho, P. C. D. F., & De Andrade Costa, S. E. V. G. (2013). Abordagem Sistêmica Do Solo Em Sistemas Integrados De Produção Agrícola E Pecuária No Subtrópico Brasileiro. *Revista Brasileira De Ciência Do Solo*, 8, 325–380.
- Carvalho, P. C. De F., Anghinoni, I., De Moraes, A., De Souza, E. D., Sulc, R. M., Lang, C. R., Bayer, C. (2010). Managing Grazing Animals To Achieve Nutrient Cycling And Soil Improvement In No-Till Integrated Systems. *Nutrient Cycling In Agroecosystems*, 88, 259–273. <https://doi.org/10.1007/s10705-010-9360-x>.
- Chivenge, P.; Angeles, O.; Hadi, B.; Acuin, C.; Connor, M.; Stuart, A.; Puskur, R.; Johnson-Beebout, S. Serviços Ecossistêmicos Em Sistemas De Arroz Com Casca. *Papel Ecosyst. Serv. Sustain. Food Syst.* 2020, 1, 181–201.
- CONAB - Companhia Nacional De Abastecimento. *Safra Brasileira De Grãos*; 2021 [Cited 2025 Jan 3]. Available From: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>.
- Dupont, S.T., Beniston, J., Glover, J.D., Hodson, A., Culman, S.W., Lal, R., Ferris, H., 2014. Root Traits And Soil Properties In Harvested Perennial Grassland, Annual Wheat, And Never-Tilled Annual Wheat. *Plant Soil* 381, 405–420. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2145-2>.
- Ellert, B. E Bettany, J. (1995) Cálculo De Matéria Orgânica E Nutrientes Armazenados Em Solos Sob Regimes De Manejo Contrastantes. *Canadian Journal Of Soil Science*, 75, 529-538. <https://doi.org/10.4141/cjss95-075>.
- LIEBIG, M.A.; FAUST, D.R.; ARCHER, D.W.; KRONBERG, S.L.; HENDRICKSON, J.R.; TANAKA, D.L. Integrated Crop-Livestock Effects On Soil Carbon And Nitrogen In A Semiarid Region. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, [S.L.], V. 3, N. 1, P. 1-8, Jan. 2020. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/agg2.20098>.
- PIVA, J.T.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; PERGHER, M.; ALBURQUERQUE, M.A.; MORAES, A.; PAULETTI, V. No-Tillage And Crop-Livestock With Silage Production Impact Little On Carbon And Nitrogen In The Short-Term In A Subtropical Ferralsol. *Revista Brasileira De Ciências Agrárias - Brazilian Journal Of Agricultural Sciences*, [S.L.], V. 15, N. 3, P. 1-7, 1 Set. 2020. *Revista Brasileira De Ciencias Agrarias*. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v15i3a7057>.
- Poeplau, C. Et Al., Isolating Soil Organic Carbon Fractions With Varying Turnover Rates—A Comprehensive Comparison Of Fractionation Schemes. *Soil Biol. Biochem.* 125, 10–26 (2018).
- SANTOS HG, JACOMINE PKT, ANJOS LHC, OLIVEIRA VA, LUMBRERAS JF, COELHO MR, ALMEIDA JA, ARAÚJO FILHO JC, OLIVEIRA JB, CUNHA TJF. Sistema Brasileiro De Classificação De Solos. 5 Ed. Brasília, DF: Embrapa; 2018.
- SOUSA, Rogério Oliveira De; CARLOS, Filipe Selau; SILVA, Leandro Souza Da; SCIVITTARO, Walkyria Bueno; RIBEIRO, Pablo Lacerda; LIMA, Cláudia Liane Rodrigues De. No-Tillage For Flooded Rice In Brazilian Subtropical Paddy Fields: History, Challenges, Advances And Perspectives. *Revista Brasileira De Ciência Do Solo*, [S.L.], V. 45, P. 1-24, 2021. *Revista Brasileira De Ciencia Do Solo*. <http://dx.doi.org/10.36783/18069657rbcs20210102>.