

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

FELIPE PEREIRA SOUTO

ESTOQUE DE CARBONO EM ÁREAS DE DIFERENTES POTENCIAIS PRODUTIVOS

UBERLÂNDIA

2023

FELIPE PEREIRA SOUTO

ESTOQUE DE CARBONO EM ÁREAS DE DIFERENTES POTENCIAIS PRODUTIVOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Sandro Manuel Carmelino Hurtado

UBERLÂNDIA

2023

FELIPE PEREIRA SOUTO

ESTOQUE DE CARBONO EM ÁREAS DE DIFERENTES POTENCIAIS PRODUTIVOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Agrônomo.

Uberlândia, 24 de janeiro de 2023

Prof. Dr. Sandro Manuel Carmelino Hurtado (ICIAG-UFU)

Profª. Dra. Araújo Hullman Batista (ICIAG-UFU)

Eng. Breno Yuri Costa Nunes (SENSIX)

RESUMO

A matéria orgânica do solo (MOS) impacta na qualidade do solo e do ambiente. O seu estudo auxilia no manejo do carbono e ao gerenciamento das lavouras em favor de sistemas mais produtivos e sustentáveis. Na presença de variação espacial da MOS, auxilia na definição de zonas homogêneas (ZH). Objetivou-se, a partir deste trabalho, validar os teores do estoque de carbono no solo em locais ou zonas com diferentes potenciais produtivos pertencentes a um mesmo talhão. O trabalho foi conduzido na Fazenda Experimental Capim Branco, no município de Uberlândia, em área de 25 hectares cultivada com grãos sob sequeiro. Na área foram definidas, previamente, três zonas homogêneas de diferentes potenciais produtivos. As mesmas foram geradas seguindo uma malha amostral de 50 pontos para coleta de atributos de solo e planta. Na área foram coletadas amostras de solo indeformada e deformadas, nas profundidades de 0 - 0,2 m, 0,2 - 0,4 m e 0,4 - 0,6 m. As coletas foram realizadas nas três ZH, considerando quatro repetições. Para cada ZH foram considerados a coleta de quatro pontos da malha amostral. A partir das amostras indeformadas foi realizada análise de densidade aparente do solo (Ds) e a partir das amostras deformadas, a análise dos teores de carbono orgânico no solo (C-org). A partir dos dados foi possível determinar o estoque de carbono no solo (Est-C) no perfil do solo e para cada ZH. Os resultados demonstram que a definição de zonas homogêneas de acordo com o potencial produtivo não acompanhou os resultados encontrados para o estoque de carbono no perfil do solo. Zonas homogêneas de menores potenciais produtivos podem representar estoque de carbono até 18% inferior em relação ao registrado para zonas de maiores potenciais produtivos.

Palavras-chaves: Unidades de gestão diferenciada, matéria orgânica, física do solo

ABSTRACT

Soil organic matter (SOM) impacts the quality of the soil and the environment. Its study aids in carbon management and crop management in favor of more productive and sustainable systems. In presence of spatial variation of SOM, it helps in the definition of homogeneous zones (HZ). The objective of this article was to validate the soil carbon stock levels in sites or zones with different productive potentials belonging to the same plot. The experiment was conducted in the Capim Branco Experimental Farm, in Uberlândia city, in an area of 25 hectares cultivated with grain under dryland conditions. Three homogeneous zones of different productive potentials were previously defined in the area. These were generated following a sampling grid of 50 points for the samples of soil and plant attributes. In the area, undeformed and deformed soil samples were sampled at depths of 0 - 0.2 m, 0.2 - 0.4 m and 0.4 - 0.6 m. The samples were taken in the three HZ, considering four repetitions. For each HZ four points of the sampling grid were sampled. From the undeformed samples, soil density (Sd) was analyzed, and from the deformed samples, soil organic carbon content (C-org) was analyzed. From this data it was possible to determine the soil carbon stock (sto-C) in the soil profile and for each HZ. The results show that the definition of homogeneous zones according to the productive potential did not follow the results found for carbon stock in the soil profile. Homogeneous zones with lower yield potentials may represent carbon stocks up to 18% lower than those registered for zones with higher yield potentials.

Keywords: Differentiated management units, organic matter, soil physics

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	3
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	8
4. CONCLUSÃO	11
5. REFERÊNCIAS	12

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento sobre o comportamento e efeitos da matéria orgânica do solo (MOS) é interesse pelo seu impacto na qualidade do solo e do ambiente (MIYAZAWA et al., 2019). A MOS é relacionada a mudanças físicas, químicas e biológicas do solo. Influencia a CTC do solo ao ser grande reservatório de nutrientes (CIOTTA et al., 2003; SILVA et al., 2010), diminui a atividade de Al^{3+} e metais pesados por complexação, auxilia na retenção de umidade, melhora a porosidade e aeração no solo e reduz os efeitos da compactação e a erosão por efeito mecânico (MIYAZAWA et al., 2019).

O estoque de carbono no solo é indicador da saúde do ecossistema ao influenciar na fertilidade do solo, retenção de água e mudanças climáticas (REEVES et al. 1997). O Est-C expressa o carbono orgânico presente no solo em determinado momento. Esse carbono é vindo da atmosfera pelo processo fotossintético, ao converter dióxido de carbono em compostos orgânicos presentes na biomassa, que serão posteriormente depositados no solo.

A presença do carbono no solo é afetada pelo ambiente e manejo do solo (PULROLNIK et al. 2009). Dentre os fatores abióticos o relevo é um fator principal. A variação neste atributo afeta o transporte de água, nutrientes e matéria orgânica levando a mudanças no depósito do solo e a mudanças no Est-C (FRAGOSO et al. 2008). A textura do solo pode também ver-se afetada pela topografia e afetar, em razão da granulometria, à porosidade, permeabilidade, retenção de água do solo, e finalmente, a quantidade de carbono orgânico no solo. Solos de textura mais argilosa possuem maior capacidade de retenção de água e acúmulo de carbono orgânico no solo. Enquanto, solos de textura mais arenosa possuem menos poros e capacidade de retenção de água (BAYER et al. 2006). A textura do solo afeta, por sua vez, a atividade microbiana e a decomposição de MOS, influenciando no ciclo do C no solo (TÓTOLA et al. 2002).

A diferente distribuição do C na fitomassa e no solo interfere na distribuição espacial do estoque de carbono no solo, direcionando o manejo da MOS nas lavouras (SCHARLEMANN et al., 2014). O aumento dos teores de C no solo tem como grande aliado o sistema plantio direto (PULROLNIK et al. 2009), que impacta na densidade do solo (Ds) em profundidade (FERNANDES et al., 2009).

A presença de variação espacial e temporal em atributos físicos e de fertilidade do solo como MOS, Ds, topografia, condutividade elétrica, permite definir zonas homogêneas (ZH) ou unidades de gestão diferenciada - UGD (PUSCH et al., 2019). Essa definição de ZH possibilita um manejo diferenciado do talhão, esperando respostas similares dentro de uma mesma zona e

respostas contrastantes entre as ZH (MIQUELONI et al., 2015). O uso dessas ferramentas da agricultura de precisão possibilita direcionar estratégias no manejo de insumos e redução do impacto ambiental nas atividades agrícolas (ALVES et al., 2013).

Objetivou-se, a partir deste trabalho, validar a diferença nos teores de estoque de carbono para zonas com diferentes potenciais produtivos pertencentes a um mesmo talhão.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O local para a elaboração do trabalho foi a Fazenda Experimental Capim Branco (18°53' S e 48°20' W), pertencente a Universidade Federal de Uberlândia. Na área, de 25 hectares, realizava-se desde 2012, sob sistema plantio direto e sequeiro (pivô central desativado), o cultivo de culturas graníferas, seguindo o padrão de semeadura com soja na primeira safra (outubro a dezembro) e milho ou sorgo na segunda safra (janeiro a março). A temporalidade das culturas instaladas é observada a partir do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), onde valores superiores correspondem a presença de maior biomassa vegetal na área (Figura 1).

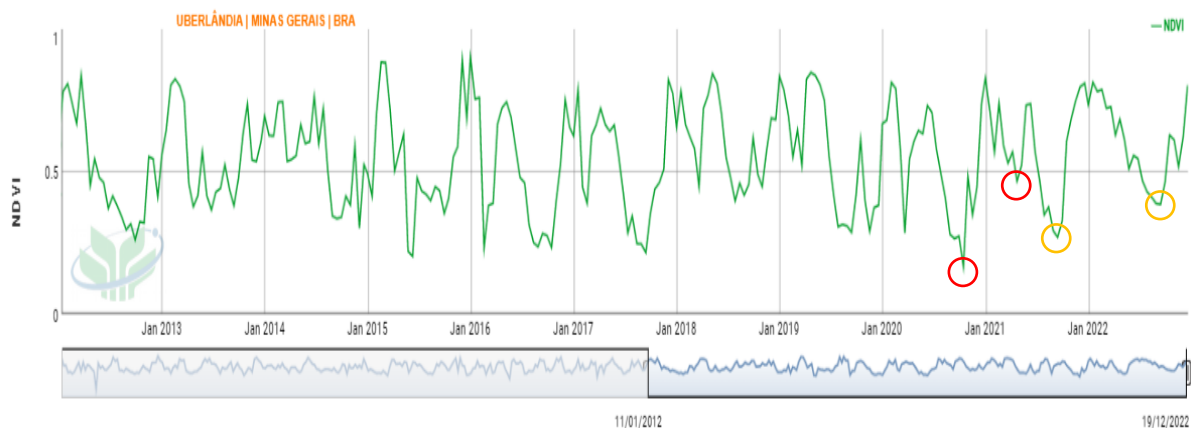


Figura 1: Monitoramento da presença de biomassa na área de estudo a partir do índice de vegetação NDVI para os anos de 2012 a 2022. Início da safra 2021/22 e 2022/22, em vermelho, safra 2022/23, em amarelo (Fonte: SatVeg, Embrapa).

Na área de estudo foram realizadas amostragens de solo visando a determinação do Estoque de Carbono no Solo. Os locais de amostragem corresponderam a definição prévia de zonas homogêneas - ZH de alto, médio e baixo potenciais produtivos (LEPESQUEUR et al., 2022). A definição das ZH foi realizada seguindo uma malha de 50 pontos amostrais no local. Foram coletados atributos areia, argila, condutividade elétrica (CE), resistência à penetração (RP), altitude e NDVI. Para o presente trabalho, a coleta de solo foi realizada para cada zona definida previamente, considerando quatro pontos amostrais para cada uma (Figura 2).

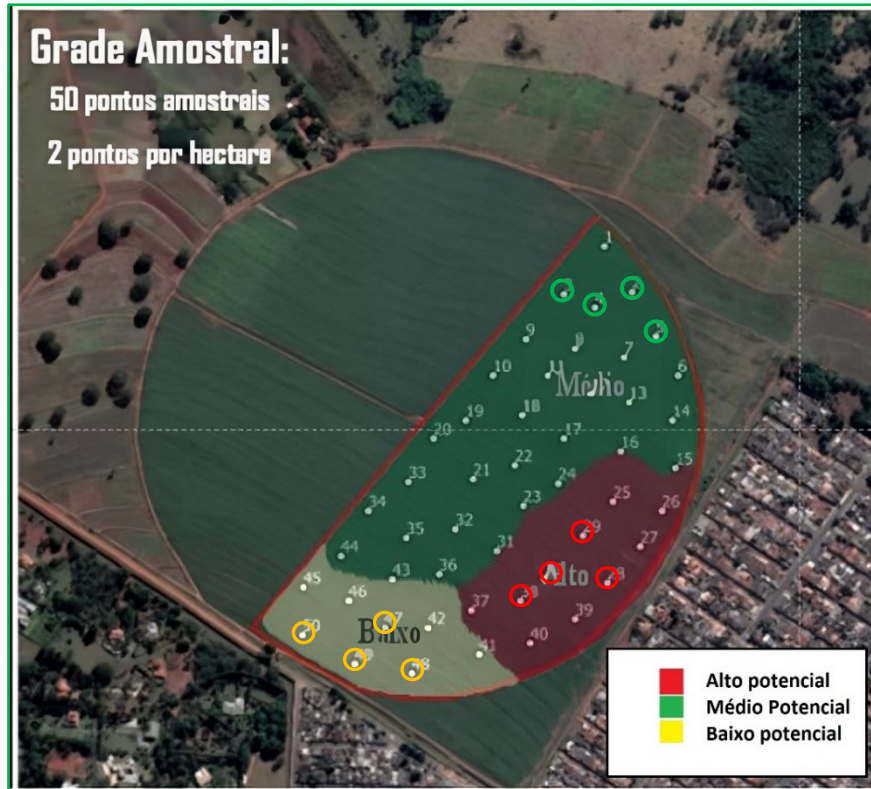


Figura 2: Pontos de amostragem considerados para cada zona homogênea previamente determinada. Fonte: Adaptado de LEPESQUEUR (2022).

Para determinação do estoque de carbono no solo foram obtidos os valores da densidade aparente (D_s) e do carbono orgânico total (CO). Para a D_s foi realizada coleta indeformada de solo, com auxílio de anel volumétrico (4,3 cm de altura e 4,7 cm de diâmetro, volume de 74,60 cm^3), nas profundidades de 0-0,2m; 0,2-0,4m e 0,4-0,6m. Por sua vez, para a coleta do solo visando a análise do CO foram retiradas amostras deformadas de solo nas mesmas profundidades e locais definidos para a D_s (Figura 3).

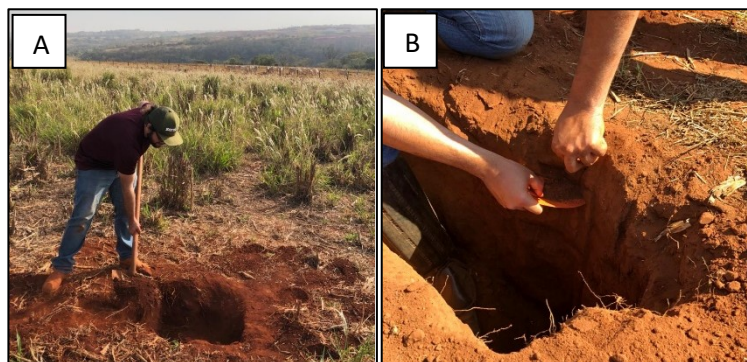


Figura 3: Preparo de covas para coleta de solo (A) e coleta deformada de solo (B).

A determinação do Estoque de Carbono (Est C) foi realizado seguindo a equação 1:

$$\text{Equação 1:} \quad \text{est } C = \frac{CO * D_s * e}{10}$$

Onde: est C = Estoque de carbono na camada (Mg.ha⁻¹);

CO = Teor de carbono orgânico na camada (g.kg⁻¹);

D_s = Densidade do solo na profundidade amostrada (kg.dm⁻³);

e = Espessura da camada estudada (cm)

Para isto, a determinação da D_s e análise do CO seguiram a metodologia descrita por Claessen et al. (1997) e Quaggio et al. (1979), respectivamente. Para a D_s as amostras de solo foram inicialmente pesadas e dispostas em placas de petri. Em seguida foram colocadas em estufa, a temperatura de 105° C, por período de 72 horas, após o qual foram transpostas a um dessecador de vidro para estabilizar a temperatura com a do ambiente, e obter o peso da massa final do solo em balança analítica. A determinação da D_s foi realizada a partir da equação 2:

$$\text{Equação 2:} \quad D_s = \frac{M_{s+p} - M_p}{V_a}$$

Onde: D_s = Densidade aparente do solo (g.cm⁻³);

M_{s+p} = Massa de solo + massa da placa de petri (g);

M_p = Massa da placa de petri (g);

V_a = Volume do anel volumétrico

A determinação do CO foi realizada por meio da oxidação da matéria orgânica por íons dicromato sem aquecimento, seguindo o método de Walkley & Black modificado (QUAGGIO et al., 1979). O teor de CO é mensurado por espectrofotometria em função da formação de íons Cr³⁺ no processo de oxidação de carbono. Prévio a análise, as amostras foram passadas em peneira de 10 mesh (malha de abertura de 2 mm), para retirar estruturas com granulometria superior a areia grossa. Após peneiradas, retirou-se de cada amostra o volume de 1 cm³ de solo, com auxílio de um cachimbo de volume conhecido, e em seguida, as amostras foram dispostas em recipientes plásticos (Figura 4).



Figura 4: Peneira de 10 mesh (A) e detalhe da retirada de 1 cm³ das amostras (B).

Como passo seguinte, as amostras de solo receberam uma alíquota de 10 ml de solução sulfocrômica, composta de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) em meio ácido, com uso do ácido sulfúrico (H_2SO_4), e dispostas em agitador por 15 minutos. Após a agitação, as amostras foram diluídas em 50 ml de água destilada e deixadas em repouso por 24 horas. Após esse período, coletou-se alíquotas de 10 ml das soluções e as mesmas foram lidas em espectrofotômetro a 650 nm, para determinação de transmitância (Figura 5).

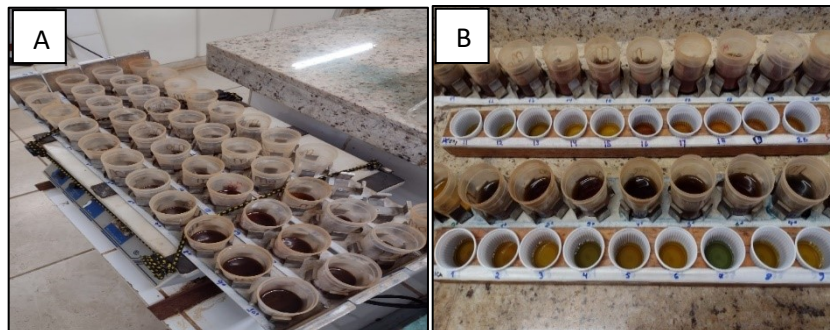


Figura 5: Agitador de amostras (A) e alíquotas das amostras após diluição (B).

Com os dados de transmitância, obtidos pela espectrofotometria, pode-se determinar as absorvâncias das amostras pela equação 3:

Equação 3:
$$A = 2 - \log (t)$$

Onde: A = Absorvância (u.a.);

t = Transmitância (%)

A partir dos dados de absorvância adquiridos foi possível determinar os valores da matéria orgânica por quilograma de solo, utilizando a equação 4:

Equação 4
$$MO = \frac{A+0,0136}{0,0729}$$

Onde: MO = Matéria orgânica (dag.kg⁻¹);

A = Absorbância (u.a)

Finalmente, os valores de MO foram convertidos a valores de carbono orgânico presentes por quilograma de solo, pela equação 5:

Equação 5:
$$CO = \frac{MO.*10}{1,72}$$

Onde: CO = Carbono orgânico (g.kg⁻¹);

MO = Matéria orgânica (dag.kg⁻¹)

Em função da toxicidade dos resíduos produzidos durante a determinação do carbono orgânico no solo, após a análise, as amostras utilizadas foram dispostas em recipiente dedicado para a eliminação destes materiais, visando realizar o descarte apropriado.

Para análise dos dados, os mesmos foram comparados a partir do teste T, a 5% de probabilidade, com auxílio do programa Action, no ambiente Excel.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos dados de média de densidade de solo aparente (Ds), carbono orgânico (CO) e estoque de carbono (Est-C) podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1: Médias da densidade aparente de solo, teor de carbono orgânico e estoque de carbono em função da profundidade e zona homogênea (ZH).

Densidade do solo (g.cm ⁻³)				
ZH	0-0,2	0,2-0,4	0,4-0,6	
Alto	1,45 A	1,42 B	1,37 B	
Médio	1,31 B	1,32 C	1,25 C	
Baixo	1,58 A	1,52 A	1,47 A	
CV (%)	9,33	6,86	8,07	
Carbono orgânico (g.kg ⁻¹)				
ZH	0-0,2	0,2-0,4	0,4-0,6	
Alto	13,63 Aa	9,71 Ab	8,36 Ab	
Médio	15,67 Aa	10,94 Ab	8,99 Ac	
Baixo	10,26 Ba	7,54 Bb	6,48 Bc	
CV (%)	20,72	18,33	16,44	
Estoque de carbono (Mg.ha ⁻¹)				
ZH	0-0,2	0,2-0,4	0,4-0,6	
Alto	39,81 Aa	27,57 Ab	22,76 Ab	
Médio	41,01 Aa	28,96 Ab	22,46 Ac	
Baixo	32,54 Aa	22,91 Bb	19,01 Bc	
CV (%)	12,14	11,97	9,73	

Letras maiúsculas comparam as zonas homogêneas para cada profundidade. Letras minúsculas comparam as profundidades de cada zona homogênea. Médias seguidas de letras iguais não se diferem pelo teste de T a 5% de probabilidade. ZH: Zona homogênea. CV: coeficiente de variação

O maior valor observado para a densidade do solo foi 1,58 g.cm⁻³, na camada de 0-0,2 m, pertencente à zona de baixo potencial produtivo. Em contrapartida, o menor valor foi 1,25 g.cm⁻³ na zona de médio potencial e profundidade de 0,4-0,6 m. A profundidade de 0-0,2 m registrou os maiores valores e a de 0,4-0,6 m os menores. A zona homogênea que apresentou maior densidade foi a de baixo potencial, enquanto, a de médio potencial obteve os menor densidade. Não houve diferença significativa em profundidades para as zona homogêneas, porém observou-se diferença estatística quando comparadas as profundidades (Tabela 1).

O valor máximo observado para o atributo carbono orgânico foi de 15,67 g.kg⁻¹, na camada de 0-0,2 m, pertencente a zona de médio potencial produtivo. Em contrapartida, o valor mínimo foi de 6,48 g.kg⁻¹, na zona de baixo potencial na profundidade de 0,4-0,6 m. A profundidade de 0-0,2 m apresentou os maiores aportes de carbono orgânico e a de 0,4-0,6 m os menores. A zona homogênea que apresentou maior teor de carbono orgânico foi a de médio potencial, enquanto que, na zona de baixo potencial foram observados os menores valores para este atributo. Para as 3 profundidades analisadas não houve diferença significativa entre as zonas de alto e médio potencial, porém ambas diferiram da zona de baixo potencial. Quando comparado as profundidades para cada zona homogênea, houve diferença significativa entre as profundidades, com exceção das profundidades de 0,2-0,4 m e 0,4-0,6 m na zona de alto potencial.

Para o estoque de carbono (Est-C) o valor máximo observado foi de 41,01 Mg.ha⁻¹ na camada de 0-0,2 m, na zona de médio potencial produtivo. Já, o mínimo valor foi de 19,01 Mg.ha⁻¹ referente à zona de baixo potencial e profundidade de 0,4-0,6 m. A profundidade de 0-0,2 m apresentou os maiores estoques de carbono e a de 0,4-0,6 m, os menores. A ZH com o maior estoque foi a de médio potencial, enquanto que, na de baixo potencial produtivo foram evidenciados os menores estoques. Para a profundidade 0-0,2 m foi verificado ausência de variação significativa entre zonas homogêneas. Para as profundidades de 0,2-0,4 m e 0,4-0,6 m a ZH de menor potencial produtivo foi diferente estatisticamente às demais, apresentando os menores valores. Quando comparadas as profundidades para cada ZH foi registrada diferença significativa, com exceção das profundidades de 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m na zona de alto potencial.

Os teores de estoque de carbono registrados (máximo de 41,01 Mg.ha⁻¹) foram um pouco inferiores aos encontrados na literatura. Em área de Cerrado nativo, Wendling et al. (2011) registrou valores de Est-C de 53,2 Mg.ha⁻¹ na camada de 0-0,2 m, enquanto que, Da-Silva et al. (2009), registrou valores de 55,5 Mg.ha⁻¹ para a mesma 0-0,2 m em Latossolo Vermelho distrófico típico, cultivado por 18 anos sobre plantio direto, com rotação de culturas envolvendo ervilhaca, milho, trigo e soja. O maior estoque de carbono na camada superficial (0-0,2 m) foi relatado por D'Andréa et al. (2004) e Delarmelina et al. (2022). Estes últimos vincularam a maior liberação de CO ao processo de decomposição da palhada de restos vegetais sob sistema plantio direto.

Valores de densidade de solo (Ds) elevados foram registrados para a ZH de baixo potencial. Valores semelhantes foram verificados por Marin et al. (2021), em áreas de maior

intensidade de uso de maquinário agrícola, representando menor capacidade produtiva. Em contrapartida, os autores observaram menores valores em zonas de maior potencial.

Quando verificados os estoques de carbono nas diferentes zonas homogêneas é possível observar maiores valores de Ds e menores de CO na ZH de baixo potencial. Essa relação foi descrita por Dadalto et al. (2016) ao observar que o aumento de Ds impactou na redução dos teores de matéria orgânica do solo.

A distribuição espacial do estoque de carbono apresenta relação inversa com os atributos areia e altitude (Lepesquer et al., 2022) (Figura 6). Esses comportamentos foram também observados por Saiz et al. (2012), ao estudar a relação entre o Est-C e a areia e por Fragozo et al. (2008), ao estudar a relação entre o Est-C e a altitude.

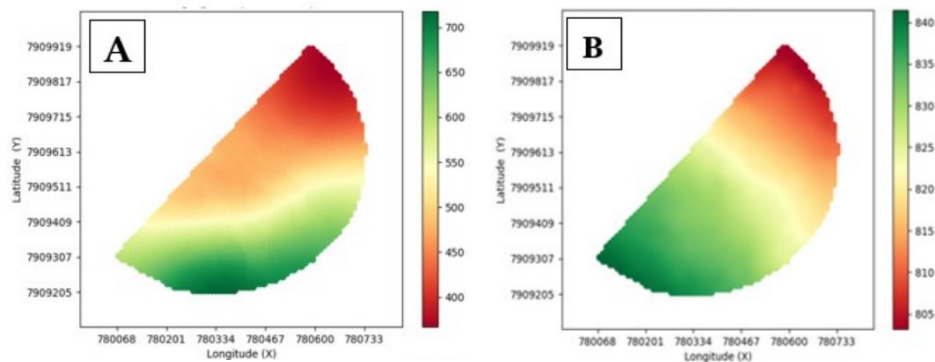


Figura 6: Mapa interpolado por krigagem para teor de areia (A) e altitude (B). Fonte: Adaptado de LEPESQUEUR (2022).

Quando verificado o estoque de carbono no perfil do solo (0-0,6 m), é possível verificar que os maiores teores foram encontrados na ZH de alto e médio potencial produtivo (Tabela 2), sendo observada diferença em relação à ZH de baixo potencial ($74,45 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) próxima a 18%.

A definição de zonas homogêneas de acordo ao potencial produtivo não acompanhou os resultados do estoque de carbono no solo. Isto pode ser explicado a partir dos dados utilizados na definição das ZH, priorizando a camada 0-0,2m (areia, argila, condutividade elétrica e resistência à penetração). Enquanto que, o estoque de carbono considerou o perfil do solo na profundidade 0-0,6 m.

Tabela 2. Estoque de carbono no perfil do solo considerando 0-0,6 m de profundidade.

Zona Homogênea	Estoque de Carbono (Mg.ha ⁻¹)
	0-60
Alto Potencial	90,15 A
Médio Potencial	92,43 A
Baixo Potencial	74,45 B
CV (%)	6,86

Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV: coeficiente de variação.

Pode ser que uma maior relação seja obtida ao se considerar dados de atributos de solo coletados em camadas mais profundas ou a partir do uso de dados temporais considerando a presença de biomassa das culturas (NDVI).

4. CONCLUSÃO

A definição de zonas homogêneas de acordo com o potencial produtivo não acompanhou os resultados encontrados para o estoque de carbono no perfil do solo.

Zonas homogêneas de menores potenciais produtivos podem representar estoque de carbono até 18% inferior em relação ao registrado para zonas de maiores potenciais produtivos.

5. REFERÊNCIAS

- ALVES, S. M. de F.; ALCÂNTARA, G. R. de; REIS, E. F. dos; QUEIROZ, D. M. de; MAGALHÃES, D. S. Definição de zonas de manejo a partir de mapas de condutividade elétrica e matéria orgânica. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.29, n.1, p.104-114, jan./fev. 2013.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil and Tillage Research**, v. 86, n. 2, p. 237-245, Apr. 2006.
- D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; GUILHERME, L. R. G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.L.], v. 39, n. 2, p. 179-186, fev. 2004.
- DA-SILVA, V. L. et al. ESTOQUE DE CARBONO EM SISTEMAS DE CULTURAS PARA GRÃOS E FORRAGEM SOB PLANTIO DIRETO. **Synergismus scientifica UTFPR**, v. 4, n. 1, 2009.
- CIOTTA, M. N. et al. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, v. 33, p. 1161-1164, 2003.
- CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).
- DADALTO, J. P. INFLUÊNCIA DO TEOR DE CARBONO ORGANICO TOTAL NA DENSIDADE DO SOLO. **XIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - Conbea 2016**. Florianópolis. 28 jul. 2016.
- DELARMELINA, W. M.; CALDEIRA, M. V. W.; GOMES JUNIOR, D.; GODINHO, T. de O.; CALIMAN, J. P.; GONÇALVES, E. de O.; KUNZ, S. H.; PEREIRA, M. G.; SILVA, C. S. Soil attributes and spatial variability of soil organic carbon stock under the Atlantic Forest, Brazil. **Ciência Florestal**, [S.L.], v. 32, n. 3, p. 1528-1551, 22 set. 2022. Universidade Federal de Santa Maria.
- FERNANDES, F. A.; FERNANDES, A. H. B. M. **Cálculo dos estoques de carbono do solo sob diferentes condições de manejo**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2009. 4 p. (Embrapa Pantanal. Comunicado Técnico, 69).
- FRAGOSO, ROCHA; DE CASTRO JÚNIOR, EVARISTO. **Relação Entre Topografia e Estoque de Matéria Orgânica no Parque Nacional da Tijuca–RJ**, 2008.

- LEPESQUEUR, T. N. **Zonas homogêneas na validação de atributos biofísicos na cultura do sorgo granífero**. 20f. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG, 2022.
- MARIN, C. K. **Caracterização da densidade do solo a partir da amostragem por zonas de manejo**. 2021. 30 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria Campus Cachoeira do Sul, Cachoeira do Sul, 2021.
- MIQUELONI, D. P.; GIANELLO, E. M.; BUENO, C. R. P. Variabilidade espacial de atributos e perda de solo na definição de zonas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, [S.L.], v. 45, n. 1, p. 18-28, mar. 2015.
- MIYAZAWA, M.; VIEIRA, K. M.; JUNIOR, C. F. A. Determinação espectrofotométrica do Cr³⁺ para estimar carbono orgânico do solo 1. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 2, n. 4, p. 1455-1463, 2019.
- PULROLNIK, K. **Transformações do carbono no solo**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2009. 36 36 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 264).
- PUSCH, M.; Machado, T.P.; Amaral, L.R. **Introdução a Agricultura de Precisão**, 03/2019. Disponível em: <www.feagri.unicamp.br/gitap>. Acesso em: 27 dezembro. 2022.
- QUAGGIO, J.A; van RAIJ, B. Comparação de métodos rápidos para a determinação do material orgânico em solos. **Revista Brasileira de Ciência do solo**. v. 3, p. 184 – 187, 1979.
- REEVES, D. W. The role of soil organic matter in maintaining quality in continuous cropping systems. **Soil and Tillage Research**, v. 43, n. 1-2, p. 131-167, nov. 1997.
- SAIZ, G.; BIRD, M. I.; DOMINGUES, T.; SCHRODT, F.; SCHWARZ, M.; FELDPAUSCH, T. R.; VEENENDAAL, E.; DJAGBLETEY, G.; HIEN, F.; COMPAORE, H.; DIALLO, A.; LLOYD, J. Variation in soil carbon stocks and their determinants across a precipitation gradient in West Africa. **Global Change Biology**, v. 18, n. 5, p. 1670-1683, May 2012.
- SCHARLEMANN, J. P. W. *et al* Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. **Carbon Management**, v. 5, n. 1, p. 81-91, 2014.
- SILVA, T. et al. **Matéria orgânica e atividade microbiana em áreas com diferentes sistemas de uso do solo no Semiárido brasileiro**. 2010.
- TIESSEN, H.; CUEVAS, E.; CHACON, P. The role of soil organic matter in sustaining soil fertility, **Nature**, London, v. 371, p. 783-785, 1994.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores de qualidade dos solos. In: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Tópicos em ciência do solo Viçosa: UFV; 2002.

WENDLING, B. et al. Mudanças no carbono e nitrogênio em diferentes compartimentos da matéria orgânica sob sistema agrossilvipastoril. **Ciência Florestal**, v. 21, p. 641-653, 2011.