

REVISTA  
**DESAFIOS**

ISSN: 2359-3652

V. 11, n. 7, Outubro/2024. Dossiê Especial: Agroenergia Digital  
[https://doi.org/10.20873/Agroenergia\\_2024\\_v11\\_n7\\_13](https://doi.org/10.20873/Agroenergia_2024_v11_n7_13)

**ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE CARBONO E RELAÇÃO C/N NO SOLO SOB DISTINTOS SISTEMAS DE PLANTIO DE SOJA EM CONDIÇÕES DE CERRADO**

*ESTIMATE OF CARBON STOCK AND C/N RATIO IN THE SOIL UNDER DIFFERENT SOYBEAN PLANTING SYSTEMS IN CERRADO CONDITIONS*

*ESTIACIÓN DE LAS EXISTENCIAS DE CARBONO Y LA RELACIÓN C/N EN EL SUELO BAJO DIFERENTES SISTEMAS DE SIEMBRA DE SOJA EN CONDICIONES DE CERRADO*

**Rosinete Nogueira de Souza:**

Mestre em Agroenergia Digital, Universidade Federal do Tocantins - UFT, Palmas-TO, Brasil.  
E-mail: ns.rosinete@gmail.com. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1110-4206>.

**Illys Janes de Souza:**

Mestre em Agroenergia Digital pela Universidade Federal do Tocantins - UFT, Palmas - TO, Brasil.  
E-mail: Illysdno@gmail.com. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0557-695X>

**Mateus Rodrigues Brito:**

Mestre em Ciências do Ambiente, Universidade Federal do Tocantins - UFT, Palmas - TO, Brasil.  
E-mail: rodriguesmr21@gmail.com. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6766-5427>.

**Domingos Bonfim Ribeiro dos Santos:**

Mestre em Agroenergia Digital, Universidade Federal do Tocantins - UFT, Palmas-TO, Brasil.  
E-mail: migos@mail.uft.edu.br. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4471-6890>.

**André Ricardo de Sousa Sá:**

Engenheiro Ambiental, Universidade Federal do Tocantins - UFT, Palmas-TO, Brasil.  
Email: andrericardoea@gmail.com. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-7144-2519>

**Flávia Lucila Tonani:**

Docente do Programa de Pós-graduação em Agroenergia Digital, Universidade Federal do Tocantins - UFT, Palmas-TO, Brasil. E-mail: flaviatonani@uft.edu.br. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6598-5582>.

Artigo recebido em janeiro de 2024 aceito em setembro de 2024 publicado em outubro de 2024

**Como citar este artigo:**

SOUZA, R. N. de; SOUSA, I. J. A. de.; BRITO, M. R.; SANTOS, D. B. R. dos; SÁ, A. R. de S.; TONANI, F. L. Estimativa do estoque de carbono e relação C/N no solo sob distintos sistemas de plantio de soja em condições de cerrado. **Desafios. Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**. Palmas, v. 11, n. 7, p. 1 - 23, out. 2024. DOI: [https://doi.org/10.20873/Agroenergia\\_2024\\_v11\\_n7\\_13](https://doi.org/10.20873/Agroenergia_2024_v11_n7_13)

## RESUMO

A mudança no uso da terra tem sido um dos principais vilões para o aumento de Gases de Efeito Estufa (GEE's). Portanto a busca por sistema de produção mais sustentáveis e menos poluentes tem sido cada vez mais frequente no setor agropecuário. Diante disto, o presente estudo objetivou avaliar o estoque de carbono (Est.C) e a relação C/N do solo, comparando Plantio Convencional de Soja (SPC), Plantio Direto de Soja/Milho (SMPD) e Vegetação Nativa (VN), em condições de Cerrado, em profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm, em blocos casualizados com parcelas subdivididas. Como resultados foi observado que o Est.C teve diferença significativa em reação a área, destacando-se o SMPD ( $75,71 \text{ Mg.ha}^{-1}$ ), em relação as demais áreas, no entanto não houve diferença significativa quanto a profundidade, sendo apresentado  $73,88 \text{ Mg.ha}^{-1}$  (0-10 cm) e  $68,77 \text{ Mg.ha}^{-1}$  (10-20 cm). Na relação C/N, também, houve diferença significativa na interação tendo, para 0-10 cm e 10-20 cm, respectivamente, os seguintes dados para SMPD ( $82,88$  e  $55,43 \text{ Mg.ha}^{-1}$ ), SPC ( $37,91$  e  $57,68 \text{ Mg.ha}^{-1}$ ) e VN ( $46,07$  e  $43,46 \text{ Mg.ha}^{-1}$ ). Verificou-se que o sistema SMPD, foi o que apresentou melhores características quanto maior permanência de carbono no solo.

**Palavras-chave:** *plantio direto, plantio convencional, vegetação nativa.*

## ABSTRACT

A move in the use of the land has been one of two main harms for the increase in Stove Efficiency Gases (GEE's). Therefore, the search for a more sustainable and less polluting production system has been increasingly frequent in the agricultural sector. From this, or present objective study to assess the carbon stock (C.Est.) and the C/N ratio of only, comparing Conventional Soybean Planting (SPC), Direct Planting of Soybean/Milho (SMPD) and Native Vegetation (VN), In closed conditions, in depths of 0-10 cm and 10-20 cm, in random blocks with subdivided plots. As results, it was observed that the Est.C has a significant difference in relation to area, highlighting the SMPD ( $75.71 \text{ Mg.ha}^{-1}$ ), in relation to the other areas, but there are no significant differences in depth, being Apresented  $73.88 \text{ Mg.ha}^{-1}$  (0-10 cm) and  $68.77 \text{ Mg.ha}^{-1}$  (10-20 cm). In the C/N ratio, there were also significant differences in the interaction between 0-10 cm and 10-20 cm, respectively, the following data for SMPD ( $82.88$  and  $55.43 \text{ Mg.ha}^{-1}$ ), SPC ( $37.91$  and  $57.68 \text{ Mg.ha}^{-1}$ ) and VN ( $46.07$  and  $43.46 \text{ Mg.ha}^{-1}$ ). Verify that the SMPD system was or that it presented better characteristics, as well as greater carbon permanence, not only the soil.

**Keywords:** *direct planting, conventional planting, native vegetation.*

## RESUMEN

El cambio de uso de suelo ha sido uno de los principales villanos del incremento de los Gases de Efecto Invernadero (GEI's). Por ello, la búsqueda de un sistema de producción más sostenible y menos contaminante ha sido cada vez más frecuente en el sector agrícola. En vista de ello, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el stock de carbono (Est.C) y la relación C/N del suelo, comparando la Siembra Convencional de Soja (SPC), la Siembra Directa de Soja/Maíz (SMPD) y la Vegetación Nativa (VN). ), en condiciones de Cerrado, a profundidades de 0-10 cm y 10-20 cm, en bloques al azar con parcelas subdivididas. Como resultado se observó que el Est.C tuvo diferencia significativa en la reacción al área, destacándose la SMPD ( $75.71 \text{ Mg.ha}^{-1}$ ), en relación a las demás áreas, sin embargo no hubo diferencia significativa en cuanto a la profundidad, siendo  $73.88 \text{ Mg.ha}^{-1}$  (0-10 cm) y  $68.77 \text{ Mg.ha}^{-1}$  (10-20 cm). En la relación C/N, también hubo diferencia significativa en la interacción con, para 0-10 cm y 10-20 cm, respectivamente, los siguientes datos para SMPD ( $82.88$  y  $55.43 \text{ Mg.ha}^{-1}$ ), SPC ( $37.91$  y  $57.68 \text{ Mg.ha}^{-1}$ ) y VN ( $46.07$  y  $43.46 \text{ Mg.ha}^{-1}$ ). Se verificó que el sistema SMPD fue el que mejores características presentó en cuanto a la mayor permanencia de carbono en el suelo

**Descriptores:** *siembra directa, siembra convencional, vegetación nativa*

## INTRODUÇÃO

A emissão de gases de efeito estufa (GEE) como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) são fatores que mais contribuem para o aquecimento global (FEARNSIDE, 2022). Isto ocorre devido ao fato desses gases aumentarem a absorção de raios infravermelho refletidos pela Terra, aumentando assim a temperatura do planeta (JUNGES et al., 2018).

Dentre os GEE emitidos na atmosfera, o CO<sub>2</sub> é o que mais contribui para o efeito estufa, devido à grande concentração na atmosfera. (LEONARD; MICHAELIDES; MICHAELIDES, 2020). Existem diversas fontes de emissão deste gás, entre elas o solo que pode contribuir de forma significativa com o total de CO<sub>2</sub> livre na atmosfera. Segundo Bruce et al. (1999) o solo é considerado o principal reservatório temporário de carbono no ecossistema por apresentar, em média, 4,5 vezes mais carbono do que a biota e 3,3 vezes mais do que a atmosfera.

Em solos com cobertura vegetal natural, o carbono (C) orgânico encontra-se em equilíbrio dinâmico, com teores praticamente constantes com o tempo. Essa condição é alterada quando o solo é submetido ao cultivo, e um novo equilíbrio é atingido num nível que varia em razão das características do sistema de manejo adotado (STEVENSON, 1994).

Estima-se que, das emissões totais, a agricultura contribui com aproximadamente 20% da emissão antrópica de GEE, sendo que pode atuar como fonte ou dreno (JOHNSON et al., 2005), dependendo das práticas agrícolas adotadas.

No plantio convencional (PC), geralmente, ocorre um preparo intensivo do solo. A aração e gradagem são técnicas de preparo do mesmo (DAROSA FILHO et al., 2018; HANKE; DICK, 2019). No entanto, ambas contribuem para a aceleração do processo de degradação de matéria orgânica do solo (MO), o que provoca a liberação de CO<sub>2</sub>.

Sistemas de manejo, como o plantio direto (PD), com menor revolvimento do solo, propiciam o acúmulo de resíduos vegetais no solo (FILIZOLA et al., 2022), fornecendo, assim nutrientes ao mesmo e contribuindo para a retenção de CO<sub>2</sub> (MATOS et al., 2019).

Do mesmo modo que o C, o Nitrogênio (N) é um elemento relevante nos estudos de MO. Sua maior parte está na fração orgânica (mais de 90%) (STEVENSON, 1986). A relação do C/N, influencia diretamente na mineralização da MO, quanto mais alta for essa relação, menor é a taxa de mineralização da MO, contribuindo, assim, para a conservação do C (RIBEIRO et al., 2019).

A agricultura é uma das mais importantes atividades da economia brasileira e vem crescendo cada vez mais, tendo como nova fronteira agrícola a região do MATOPIBA, formada por parte dos estados do Maranhão Tocantins, Piauí e Bahia, que em sua maior parte encontra-se sob regiões de Cerrado.

O bioma Cerrado tem papel expressivo na produção brasileira de grãos (CAMPANHA et al., 2020). No entanto, segundo Fagundes et al. (2019), são escassas as informações da influência do sistema de manejo do solo neste bioma, sendo necessário, assim, o desenvolvimento de estudos a fim de promover a sustentabilidade.

Diante o exposto, a presente pesquisa tem por objetivo estimar o estoque de carbono e a relação C/N do solo em diferentes sistemas de manejo em condições de Cerrado.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

O estudo foi realizado na fazenda Bom Gado, localizada no distrito de Luzimangues, pertencente ao município de Porto Nacional - TO .

Porto Nacional possui área de 4.449,917 km<sup>2</sup> e encontra-se localizado a 64 km da capital do estado. O mesmo está inserido na bacia hidrográfica do Rio Tocantins. A vegetação predominante na região é Cerrado (PMAE/PN-TO, 2018). O solo da área de estudo, é classificado como Latossolo (SEPLAN, 2015).

O município possui atributos que atraem o desenvolvimento agrícola, como as extensas áreas planas, a disponibilidade hídrica e sua localização, por estar próximo à rodovia federal BR 153, capital Palmas e Ferrovia Norte-Sul (CARDOSO et al. 2017).

### **Tratamentos e delineamento experimental**

O delineamento foi inteiramente casualizado em esquema de subparcelas. Foram avaliados 3 sistemas de manejo: solo sob plantio convencional de soja (SPC), solo com plantio direto soja/milho (SMPD) e solo sob vegetação nativa (VN), caracterizada como Cerrado stricto sensu. Foram avaliadas duas profundidades, 0-10 cm e 10-20 cm, com 4 repetições totalizando 24 parcelas. As amostras foram coletadas no mês de agosto de 2018. As mesmas foram armazenadas em sacos plásticos e posteriormente submetidas ao laboratório de solos da Universidade Federal do Tocantins (UFT) para estudar as seguintes variáveis: densidade (g.cm<sup>-3</sup>), matéria orgânica (%), carbono orgânico total (%) e estoque de carbono (Mg.ha<sup>-1</sup>), estoque de nitrogênio (Mg.ha<sup>-1</sup>) e relação C/N.

**Características avaliadas:****Umidade**

Os tubos foram cravados no solo, por meio de percussão, até seu preenchimento total. Posteriormente, removeu-se o excesso de solo, até igualar as bordas do tubo. As amostras foram retiradas na porção média da camada. O solo obtido dentro do anel foi transferido para um recipiente e levado para secar em uma estufa a 105 °C, por 48 horas, visando obter sua massa seca (BRITO et al., 2018). A umidade foi obtida pela seguinte equação:

$$U_s = ((SU-SS)/SU) .100 \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

$U_s$  = umidade do solo;

$SU$  = solo úmido;

$SS$  = solo seco.

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, conforme Embrapa (1997). O volume do anel foi determinado conforme a equação a seguir:

$$V = \pi . r^2 . h \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

$V$  = volume do anel ( $\text{cm}^3$ );

$r$  = raio (cm);

$h$  = altura do anel (cm).

$$D = m/v \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

$D$  = densidade aparente do solo ( $\text{g} . \text{cm}^3$ );

$m$  = massa de solo seco (g);

$v$  = volume do anel ( $\text{cm}^3$ ).

**Determinação do teor de matéria orgânica (MO)**

O teor de MO foi determinado pelo método da Calcinação “*Loss of Ignition*” tomando-se 4 g de cada amostra previamente seca a 105 °C, que foi levada a mufla a 500 °C por 5 h.

O que foi queimado na mufla é a matéria orgânica, o que sobrou é matéria mineral (BRITO et al., 2018), por diferença obteve-se a matéria mineral.

### **Carbono Orgânico Total (COT) do solo**

Para resíduos orgânicos, o emprego do método da mufla permite estimar o teor de C total de resíduos compostados, bastando para isso que se utilize o fator de 1,8 para conversão de MO em C total, conforme sugerem Jiménez; García (1992). No entanto, para estimar o C do solo a partir da MO, adotou-se o fator 2, como recomendado por Pribyl (2010), para amostras de solo.

$$\text{COT} = \text{MO} / 2 \quad (\text{Eq. 4})$$

### **Determinação do estoque de carbono no solo**

O estoque de carbono em cada camada de solo avaliada, foi estimado conforme a expressão de Rosa; Sano; Rosendo (2014).

$$\text{EstC} = C \cdot D \cdot E \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:

EstC = estoque de carbono na camada analisada ( $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ );

C = teor de carbono total (%);

D = densidade aparente do solo da camada analisada ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ );

E = espessura da camada (cm).

### **Determinação de nitrogênio total do solo**

A análise de nitrogênio total de solos, foi realizada conforme descrito por Ribeiro (2010), através do método de Kjeldahl, onde a amostra foi digerida com ácido sulfúrico concentrado sob aquecimento, o que transformou todo o nitrogênio orgânico em íons amônio. Numa etapa subsequente, a solução obtida foi alcalinizada com hidróxido de sódio concentrado e a amônia produzida, foi destilada e captada por uma solução de ácido bórico, e depois titulada com ácido clorídrico 0,1 normal padronizado.

Calculou-se as concentrações de nitrogênio utilizando a seguinte equação:

$$\% \text{ N} = \frac{(\text{VAm} - \text{VBr}) \cdot C \cdot 14,01 \cdot 100}{1000 \cdot M} \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde:

VAm = volume de ácido gasto na titulação da amostra, em mL;

VBr = volume de ácido gasto na titulação da prova em branco, em mL;

C = concentração de ácido clorídrico titulante, em  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ;

M = massa de amostra usada, em g.

## Relação C/N

A relação C/N foi estimada a partir dos valores obtidos para teores de carbono e nitrogênio total das amostras.

O cálculo foi realizado através da seguinte expressão:

$$\text{Relação C/N} = \text{COT} / \text{Nt} \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde:

COT= Carbono orgânico total;

Nt = Nitrogênio total.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Análise de Variância

O quadro de Análise de Variância mostra que ocorreu interação significativa para a variável umidade, nitrogênio total, estoque de carbono e a variável C/N, ao nível de 5% pelo teste F. Analisando apenas o fator profundidade, observa-se que ocorreu diferença significativa ( $P < 0,05$ ) para a variável umidade a nível de 5% pelo teste F. Avaliando o fator área observa-se que houve diferença significativa entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ) pelo teste f, para todas as variáveis (Umidade, densidade, matéria mineral, matéria orgânica, carbono orgânico total e estoque de carbono, relação C/N), exceto nitrogênio total e estoque de nitrogênio (Tabela 1).

**Tabela 1** - Análise de variância dos valores de umidade (UM), densidade (Ds), matéria mineral (MM), matéria orgânica (MO), carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono (Est. Carb), nitrogênio total (NT), estoque de nitrogênio (Est. N), relação carbono /nitrogênio (C/N) de em solo sob diferentes sistemas de manejo.

FV	GL	QM								
		UM	Ds	MM	MO	COT	Est. Carb	NT	Est. N	Rel. C/N
Área	2	71,00*	0,19*	25,43*	25,43*	6,36*	117,78*	4,91 NS	0,088NS	6,34*
Erro 1	9	6,34	0,010	3,87	3,87	0,97	115,30	7,17	0,021	0,70
Profun	1	139,83*	0,0038 NS	5,62 NS	5,62 NS	1,41 NS	156,83NS	4,65 NS	0,0098NS	0,15 NS
Área x Profun	2	29,63*	0,0016 NS	4,62 NS	4,62 NS	1,15 NS	252,42NS	27,98*	0,101*	4,76*
Erro 2	9	2,39	0,0023	2,17	2,17	0,54	115,00	1,035	0,0034	0,39
Total	23									
CV1 (%)		24,69	7,45	2,20	18,50	18,49	15,05	23,57	12,10	11,55
CV2 (%)		15,15	3,52	1,65	13,85	13,81	15,04	4,74	4,95	8,57

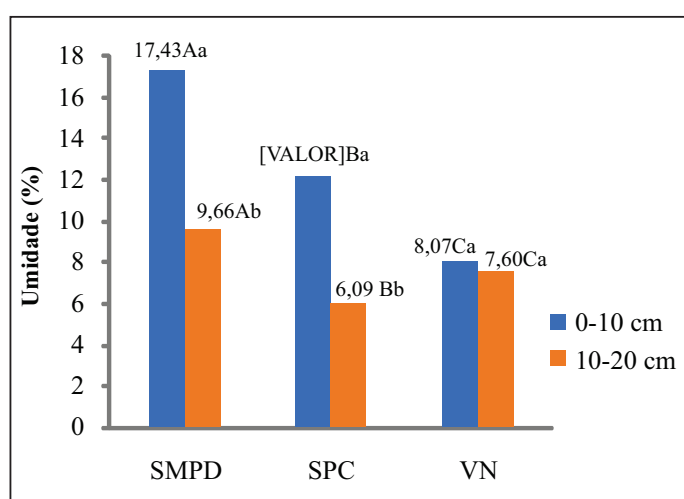
\*Significativo ao nível ( $p < 0,05$ ). Us: umidade do solo, Ds: densidade do solo, MM: matéria mineral, MO: matéria orgânica, COT: carbono orgânico total, Est.Carb: estoque de Carbono, NT: nitrogênio total, Est. N: estoque de nitrogênio; Rel. C/N: relação C/N.



## Umidade

Os teores de umidade do solo são apresentados na Figura 1. Nota-se que houve interação entre sistemas e entre profundidade dentro do mesmo sistema, ao nível de 5% de probabilidade. O solo sob SMPD apresentou 29,20% e 44,07%, maior teor de umidade em relação ao solo sob SPC e VN, respectivamente na camada mais superficial. Tanto no sistema de PDSM quanto SPC a umidade profundidade 10-20 cm foi menor que na profundidade de 0-10 cm, porém, não variou no solo de VN.

**Figura 1** - Percentagem de umidade (%) em solos de Cerrado sob diferentes sistemas de uso, associado a diferentes profundidades.



Fonte: Próprio autor

Letras maiúsculas representa comparação entre as áreas, letras minúsculas representam a comparação entre as profundidades no mesmo sistema

Santana et al. (2018) avaliando a umidade do solo em PC e PD de soja em Argissolo Vermelho, em área de transição de Bioma Amazônico e Cerrado, em diferentes profundidades, obteve os seguintes resultados: 0,36 g.g<sup>-1</sup>(0-10 cm) e 0,40 g.g<sup>-1</sup> (10-20 cm), em PD, e 0,32 g.g<sup>-1</sup> (0-10 cm) e 0,28 g.g<sup>-1</sup> (0-10 cm) em PC. Verifica-se que os dados de umidade do PD, em ambas profundidades, são superiores em relação ao PC. O PD caracteriza-se pelo menor revolvimento do solo e maior acúmulo de matéria orgânica e isto faz com que haja menor perda de água por evaporação.

Martins Filho et al. (2020) avaliando a Umidade Gravimétrica de solo de PD de soja, PC de soja (safra 2016/17 e 2017/18) e milho (2018/19) e VN, em área de Cerrado, na profundidade de 0-20 cm, constatou que a umidade gravimétrica no PD e PC não tiveram diferença significativa, sendo 6,32 cm (PD) e 8,24 cm (PC). No entanto, diferiram do solo de VN, que apresentou 17,08 cm, tendo assim maior conservação de umidade que os demais.

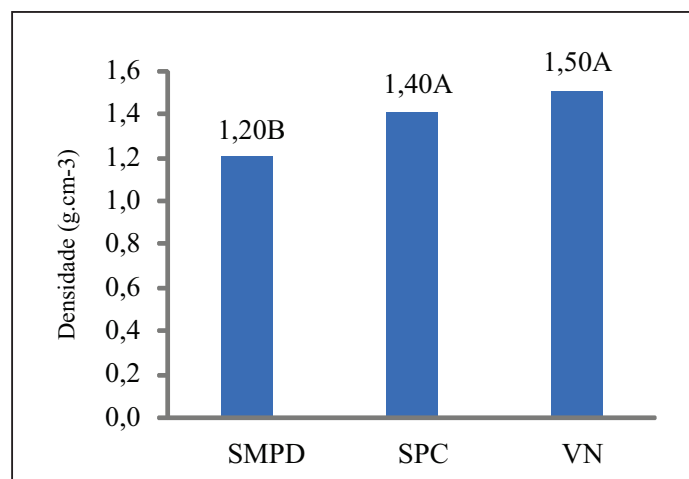


Solos sob condições de Cerrado ficam expostos longos períodos a escassez de chuva e além disso, perdem água com facilidade, tanto, por evaporação quanto por lixiviação e a manutenção da umidade do solo é fator essencial para vida dos microorganismos e da vida vegetal.

### Densidade

Na Figura 2 estão contidos os valores referentes a densidade do solo sob diferentes sistemas de ocupação em condições de Cerrado, demonstrando que não houve interação significativa entre solos e profundidades ( $p > 0,05$ ). A densidade do solo sob SMPD foi a menor ( $1,20 \text{ g.cm}^{-3}$ ) e diferiu estatisticamente ( $p < 0,05$ ) do solo de SPC e de VN que foram semelhantes entre si ( $p > 0,05$ ), variando de  $1,40$ - $1,50 \text{ g.cm}^{-3}$  mantendo-se ainda abaixo do nível crítico ( $1,75 \text{ g.cm}^{-3}$ ) proposto por Medina (1985); Corsini; Ferraudo (1999).

**Figura 2** - Densidade ( $\text{g.cm}^{-3}$ ) em solos de Cerrado sob diferentes sistemas de uso

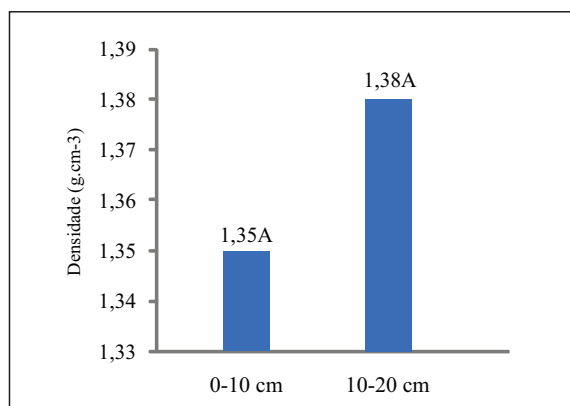


Fonte: Próprio autor

A área de VN apresentava um solo mais pedregoso, o que provavelmente o tornou mais denso. Já no solo SPC a maior densidade pode ter sido causada pela maior movimentação de máquinas o que não é uma prática comum no sistema de PD. Além disso, o acúmulo de MO, geralmente, maior em sistemas sob PD tende a reduzir a densidade do solo.

A densidade do solo, geralmente, aumenta com a profundidade do perfil, onde ocorre a diminuição da porosidade total, ocasionadas as pressões exercidas pelas camadas superiores do solo, provocando o fenômeno de compactação (PERUSSO et al., 2019; CARVALHO et al., 2020). No entanto, para presente estudo, conforme apresentado na Figura 3, não houve diferença significativa em relação a profundidade.

**Figura 3** - Densidade ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) em diferentes profundidades em solos de Cerrado sob diferentes sistemas de uso



Fonte: Próprio autor

Florence et al (2021) obteve para o solo, do tipo Latossolo, de sob VN (bioma amazônico) no município de Alta Floresta – MT a densidade média obtida foi de  $1,10 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , na profundidade de 0-10 cm e  $1,20 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , em 10-20 cm. Resultado inferior ao do presente estudo, que possui solo pedregoso, e vegetação mais rala, comparada com o bioma amazônico, o que resulta em menor MO ao solo, tornando este mais denso.

Fagundes et al. (2019) encontrou em PC de milho, PD de milho/braquiaria e VN, em área de Cerrado, as seguintes médias de densidade:  $1,49 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  (PC),  $1,59 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  (PD);  $1,44 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  (VN), na profundidade de 0-10 cm, e  $1,55 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  (PC),  $1,73 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  (PD),  $1,48 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  (VN).

Feitosa Junior et al. (2019) analisando a densidade média do solo em PC de soja, SPD de soja em consórcio (milho, braquiária e algodão) e VN de Cerrado encontraram os seguintes resultados:  $1,43 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  (CN),  $1,52 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  (PC), e  $1,61 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  (PD), na profundidade de 0-10 cm, e  $1,47 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  (CN),  $1,58 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  (PC), e  $1,75 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  (PD), na profundidade de 10-20 cm. Verifica-se que a densidade, em ambas profundidades, do solo de VN estão próximos, ao do presente estudo, enquanto a densidade de PC e PD foram superiores.

### Matéria Orgânica

AMO está diretamente relacionada aos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Dentre inúmeras vantagens que a mesma vem oferecer ao solo, destacam-se: aumento da capacidade de retenção de água, fonte de nutrientes para as culturas e para os microorganismos que fazem sua decomposição, maior capacidade de troca catiônica do solo (CTC) e aumento do teor de carbono orgânico do solo (SANTOS et al., 2018, CHAVEIRO et al., 2022).

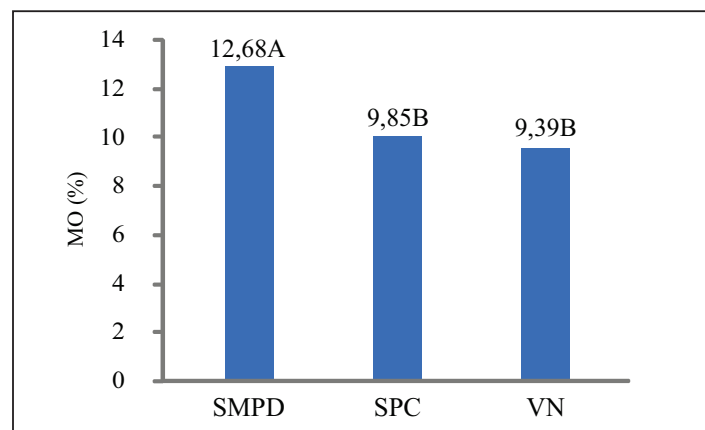
Avaliando o teor de MO dos solos do presente estudo verificou-se que houve

diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os sistemas (figura 4). Nota-se que o solo sob SMPD apresentou maior teor de MO (12,68 %), em relação às demais e, isso pode ser devido à massa residual permanente presente neste tipo de sistema e o tempo que foi implantado o mesmo, que é em torno de 10 anos.

Destaca-se ainda, segundo ARF et al. (2018), que o PD é caracterizado como um sistema que se caracteriza pelo mínimo revolvimento do solo, na formação de cobertura morta e na rotação de cultura. Tais fatores contribuem significativamente para o acúmulo de MO no solo.

Sistemas integrados associados às práticas de manejo e conservação do solo, como SMPD do presente estudo, promovem um alto teor de MO a superfície do solo, já que favorece as condições físicas, químicas e biológicas do solo, diferente do que ocorre em PC de monocultura, por alguns anos, ocasiona a perda de MO (ASSAD et al., 2019).

**Figura 4** - Percentagem de MO (%) em solos de Cerrado sob diferentes sistemas de uso



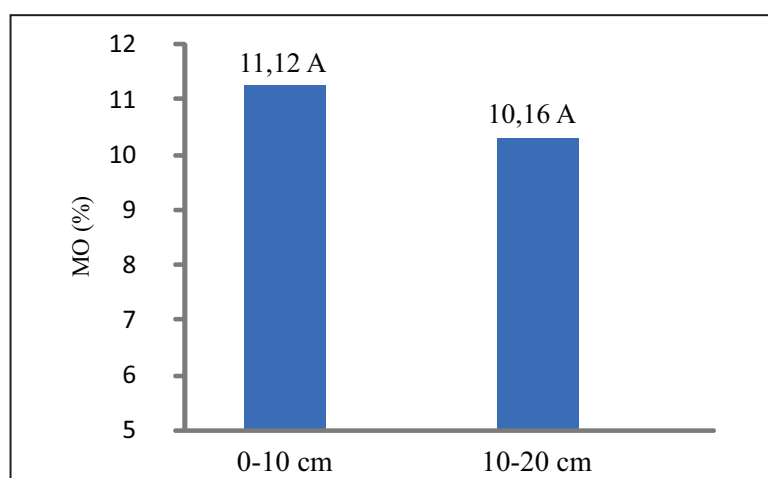
Fonte: Próprio autor

Nunes et al. (2019) apresentou os seguintes resultados em área de Cerrado, na profundidade de 0-20 cm: 2,63% em PD de soja e 2,43% em VN, resultados estes inferiores ao do presente estudo.

Silva et al. (2020) encontrou para MO em profundidade de 0-5cm em bioma de mata atlântica os seguintes teores: 8,3% em solo de VN e 2,9 em solo de área agrícola (milho). Como apresentado, o teor de MO da área agrícola foi superior que a área de plantio de milho, diferentes do presente estudo onde o teor de MO da VN foi inferior ao da SMPD e igual, estatisticamente, ao do SPC.

Os dados da Figura 5 permite constatar que não houve diferença significativa ( $p > 0,05$ ) entre as duas profundidades estudadas.

**Figura 5** - Teor de MO (%) em diferentes profundidades em solos de Cerrado sob diferentes sistemas de uso



Fonte: Próprio autor

Reis et al. (2019) avaliando sete delineamentos, de PD de milho, onde seis tinham adubação e um sem adubação (testemunha), verificou que em todos os delineamentos a MO foi mais alta próxima a superfície do solo. Os dados de MO do delineamento sem adubação foram: 20,48 g.kg<sup>-1</sup> (0-20 cm) e 15,44 g.kg<sup>-1</sup> (20-40 cm).

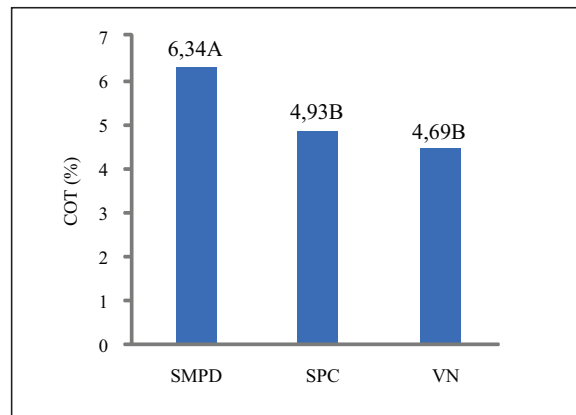
Altas concentrações de MO como a encontrada no presente estudo indicam que o solo está recebendo uma grande quantidade de material orgânico que nestes casos são oriundos de raízes, macro e microorganismos presentes no solo, além dos resíduos culturais e da biomassa acima do solo. Nos três sistemas, então, pode-se verificar que está ocorrendo desenvolvimento satisfatório da vida no solo, em especial a área de SMPD. Além disso, este estudo foi realizado em período seco quando condições de baixa umidade favorecem a permanência da matéria orgânica no solo sem que sofra oxidação.

### **Carbono Orgânico Total (COT)**

Avaliando o teor de COT no solo das três áreas, percebe-se que houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as amostras (Figura 6). A área de SMPD apresentou maior percentagem de COT em relação às demais, com 6,34 %.

Sabe-se que o COT está relacionado com o quantitativo de MO presente no solo. Assim quanto mais MO, maior será o COT. Nota-se que o COT das áreas avaliadas apresentou maiores percentuais, respectivamente, nas áreas de SMPD, PC e VN, assim como ocorreu na avaliação de MO.

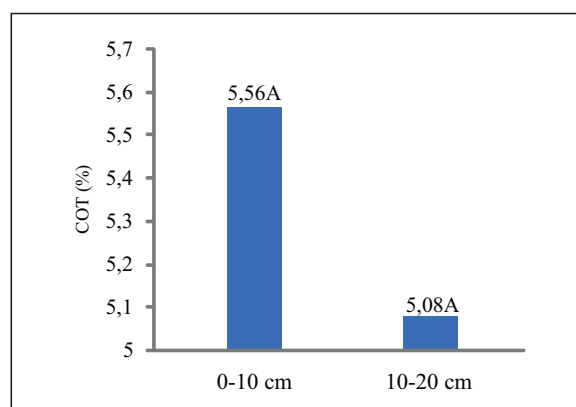
**Figura 6** - Teor de COT (%) em solos de Cerrado sob diferentes sistemas de uso



Fonte: Próprio autor

Com relação ao COT em diferentes profundidades verificou-se que não houve diferença significativa ( $p > 0,05$ ) (Figura 7).

**Figura 7** - Teor de COT (%) em diferentes profundidades em solos de Cerrado sob diferentes sistemas de uso



Fonte: Próprio autor

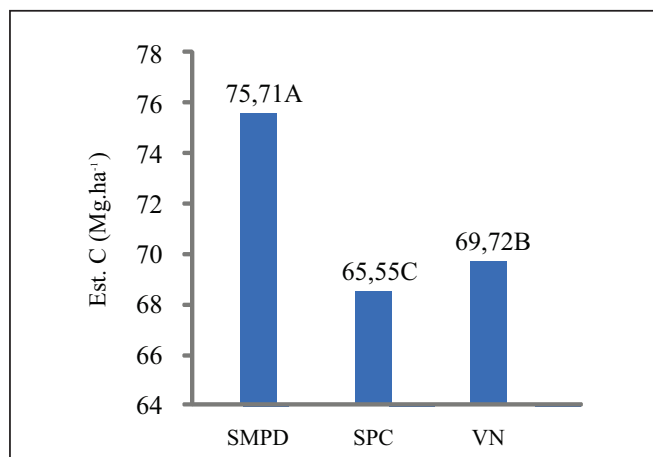
Feitosa Júnior et al. (2019) verificando o a média de COT em PC de soja, SPD de soja em consórcio (milho, braquiara e algodão) e VN de Cerrado encontraram os seguintes resultados: 5,65 g.kg<sup>-1</sup> em VN; 3,37 g.kg<sup>-1</sup> em PC e 6,26 g.kg<sup>-1</sup> PD, na profundidade de 0-10 cm, e 4,45 g.kg<sup>-1</sup> em VN; 2,76 g.kg<sup>-1</sup> em PC e 4,42 g.kg<sup>-1</sup> em PD, na profundidade de 10-20 cm.

Reis et al. (2022) obtiveram em solos de Cerrado, em profundidade de 0-10 cm e 10-20 cm, respectivamente, média de COT de 7,55 g.kg<sup>-1</sup> e 7,17 g.kg<sup>-1</sup> em PC de algodão e 13,58 g.kg<sup>-1</sup> e 11,88 g.kg<sup>-1</sup>, em PD de algodão, soja, crotalária e braquiária.

## Estoque de Carbono

Em relação aos dados de estoque de carbono, tanto para área como para profundidade, não houve diferença significativa ( $p>0,05$ ), como pode ser visto nas Figuras 8 e 9.

**Figura 8** - Estoque de carbono ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) em solos de Cerrado sob diferentes sistemas de uso



Fonte: Próprio autor

O solo sob PD apresentou maiores teores de MO, e conseqüentemente de COT, e verificou-se diferença estatística ( $p>0,05$ ) quanto a estocagem de carbono mesmo sendo um solo menos denso.

A união da MO aos grânulos de solo tendem a diminuir a densidade do mesmo, já que a densidade da MO ( $0,2$  a  $0,4 \text{ g/cm}^3$ ) é inferior ao solo ( $1,2$  a  $1,4 \text{ g/cm}^3$ ). Além disso, a MO promove o aumento dos espaços porosos do solo, tornando-os menos densos (ARRUDA; DALBEM; SOUZA, 2021).

Feitosa Júnior et al. (2019) que, avaliando diferentes sistemas de manejo em solos de Cerrado, verificou-se que o PC de soja apresentou Est.C de  $\sim 11 \text{ Mg.ha}^{-1}$ , em PC de soja,  $\sim 17 \text{ Mg.ha}^{-1}$  em PD de soja e  $\sim 15 \text{ Mg.ha}^{-1}$  em CN.

Castellano; Santos; Menegário (2022) em sua pesquisa sobre o potencial de armazenamento de carbono do solo no Cerrado, através de análise de dados anteriores, encontrou as seguintes média de estoque de carbono:  $55,7 \text{ Mg.ha}^{-1}$  (VN) e  $46 \text{ Mg.ha}^{-1}$  em área de PD, na profundidade de 0-20 cm, e  $77 \text{ Mg.ha}^{-1}$  (VN) e  $63,5 \text{ Mg.ha}^{-1}$  em área de PD, na profundidade de 0-30 cm.

Barbosa Brito et al. (2018) encontraram para áreas de PC de soja/sorgo, PD de soja/sorgo e VN de Cerrado, em Latossolos, os seguintes dados:  $22,32 \text{ Mg.ha}^{-1}$  (PC),  $22,45 \text{ Mg.ha}^{-1}$  PD e  $29,9 \text{ Mg.ha}^{-1}$  (VN), na profundidade de 0-10 cm, e

37,75 Mg.ha<sup>-1</sup> (PC), 42,21 Mg.ha<sup>-1</sup> PD e 52,92 Mg.ha<sup>-1</sup> (VN), na profundidade de 10-20 cm. Verificou-se que não houve diferença significativa Est.C entre PD e PC e a VN apresentou o maior Est.C em ambas profundidades. Tal vegetação é classificada como Floresta Estacional Decidual, conhecida como “mata seca”, onde no período de estiagem, as árvores perdem quase completamente as folhas, o que agrega mais MO ao solo.

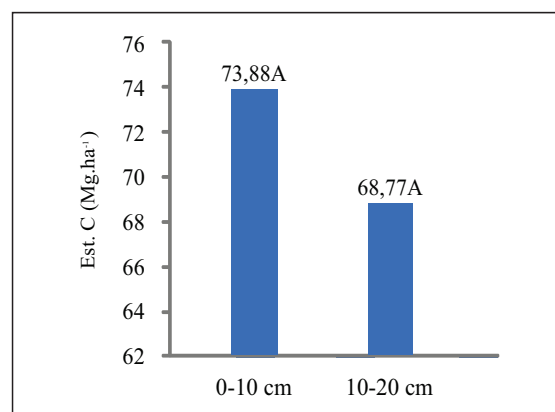
Souza et al. (2018) avaliando o Est.C, na profundidade de 0-30 cm, em sistema PD, PC e VN em solos de Cerrado obtiveram: 39,8 Mg.ha<sup>-1</sup> em PD com rotação de cultura de soja, milho+ braquiária e algodão; 38,5 Mg.ha<sup>-1</sup> em PC com rotação de cultura de algodão, soja e braquiária; e 57,6 Mg.ha<sup>-1</sup> (VN).

Em relação ao Est.C em profundidade, conforme o gráfico abaixo percebe que não houve diferença significativa, diferente de vários outros estudos avaliados, que demonstraram que quanto maior a profundidade maior o estoque de carbono.

Almeida et al. (2021), encontraram, em solo de VN de Cerrado, cerca de: 39,5 Mg.ha<sup>-1</sup> (0-10 cm), 64 Mg.ha<sup>-1</sup> (10-20 cm), 95 Mg.ha<sup>-1</sup> (20-30 cm) e 118 Mg.ha<sup>-1</sup> (30-40 cm). Souza et al. (2018) constataram, em solo de VN de Cerrado, 57,6 Mg.ha<sup>-1</sup> (VN) e 70.1 Mg.ha<sup>-1</sup>, nas profundidades de 0-30 cm e 30-100 cm, respectivamente.

Falcão et al. (2020) avaliando, em região de Cerrado o Est.C do solo em área de VN e PC e PD, onde ambos sistemas de plantio eram de cultivos alternados de soja, milho, nabo forrageiro, crotalária, feijão, milho e pousio nas entressafras de verão e inverno, obtiveram: 35,06 Mg.ha<sup>-1</sup> (VN), 19,20 Mg.ha<sup>-1</sup> (PC), e 44,82 Mg.ha<sup>-1</sup> (PD).

**Figura 9** - Estoque de carbono (Mg ha<sup>-1</sup>) em profundidade em diferentes profundidades em solos de Cerrado sob diferentes sistemas de uso



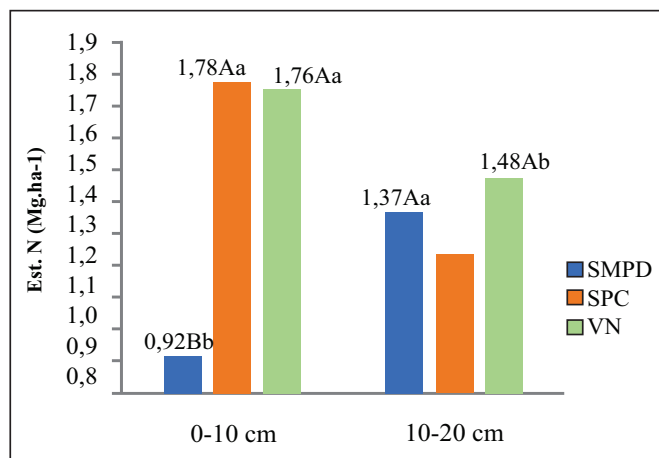
Fonte: Próprio autor



## Estoque de Nitrogênio

Avaliando o Est.N do solo percebe-se que houve interação significativa entre os fatores, segundo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade (Figura 10).

**Figura 10** - Estoque de Nitrogênio ( $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) em profundidade em diferentes profundidades em solos de Cerrado sob diferentes sistemas de uso



Fonte: Próprio autor

Letras maiúsculas representam comparação entre as áreas, letras minúsculas representam a comparação entre as profundidades no mesmo sistema.

Avaliando o Est.N do solo percebe-se que houve interação significativa entre os fatores, segundo teste F ao nível de 5% de probabilidade (Figura 10). As interações PC e VN, ambas na profundidade de 0 – 10 cm foram as que apresentaram maiores valores de estoque de nitrogênio em comparação com as outras interações. Já na profundidade de 10-20 cm o SMPD apresentou maior estoque de N.

O PD entre os sistemas avaliado foi o que apresentou maior teor de MOS, esta que serve como fonte de N. Além disso o sistema de PD, em questão têm a soja como cultura principal e o milho como segunda cultura, ambas exigentes em nutrientes (soja e milho), principalmente de N.

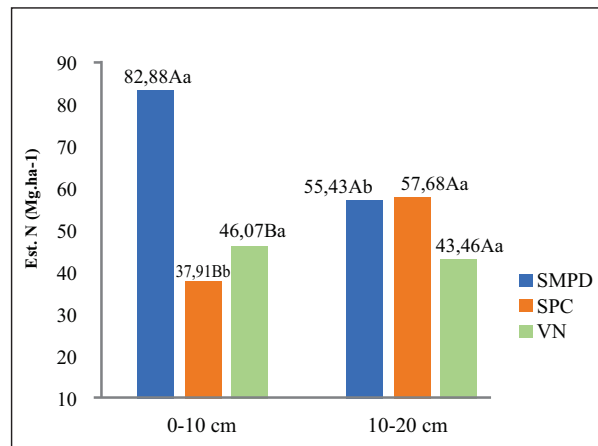
Souza et al. (2018) avaliando o Est.N, na profundidade de 0-30 cm, em PD, PC e VN em solos de Cerrado verificaram:  $2,15 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  em PD com rotação de cultura de soja, milho+ braquiária e algodão;  $2,0 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  em PC com rotação de cultura de algodão, soja e braquiara; e  $2,81 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (VN).

Almeida et al. (2021), observaram, em solo de VN de Cerrado, cerca de:  $3,4 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (0-10 cm),  $5,8 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (10-20 cm),  $8,2 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (20-30 cm) e  $10,4 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (30-40 cm).

## Relação C/N

A relação C/N dos sistemas avaliados podem ser observados na Figura 11.

**Figura 11** - Relação C/N em solos de Cerrado sob diferentes sistemas de uso



Fonte: Próprio autor

Letras maiúsculas representam comparação entre as áreas, letras minúsculas representam a comparação entre as profundidades no mesmo sistema.

Avaliando a relação C/N do solo percebe-se que houve interação significativa entre os fatores, segundo teste f ao nível de 5% de probabilidade. A interação PD na profundidade de 0 – 10 cm foi a que apresentou uma maior relação de C/N em comparação com as outras interações.

SILVA et al. (2019) verificaram os seguintes valores para relação C/N da palha do milho: 47,35±1,12 (julho), 54,32±3,22 (setembro), 49,99±2,01 (novembro) e 55,34±3,58 (dezembro).

Ardenti et al. (2023) avaliando a relação C/N em área de 9 anos de rotação de cultura de trigo, milho e soja, em PC, observaram os seguintes resultados: 62,9 (2013), 72,1 (2014), 51,8 (2017) e 62,1 (2020), no plantio de milho. E relação C/N de 41,3 (2015) e 41,3 (2018), no plantio de soja, semelhante ao do presente estudo.

No Cerrado, geralmente, o sistema de plantio de soja ocorre em sucessão com o milho, o que promove maior proteção ao solo, já que os resíduos vegetais da soja possuem baixa quantidade e rápida decomposição, diferente do milho (TAVARES; FARHATE; ASSIS, 2020).

Considerando que os restos culturais do milho sejam fontes ricas em carbono era esperado que a relação C/N fosse alta no plantio direto, como ocorreu no presente trabalho. Já como a soja é uma oleaginosa e rica em nitrogênio os

resíduos culturais deixados no solo contribuiram para uma menor relação C/N no sistema convencional. Não sendo observado este efeito nas camadas mais profundas onde a menor quantidade de resíduos e este efeito acaba sendo menor ou até nulo.

Altas relações C/N retardam a mineralização da MO e com isto o solo fica protegido por mais tempo pelo material residual (MATOS et al., 2019; TAVARES; FARHATE; ASSIS, 2020; SIQUEIRA et al., 2021). Esta condição é muito importante para a conservação de solos de Cerrado dada a alta vulnerabilidade a fatores intempéricos.

A relação C/N acima de 25 é considerada adequada, indicando que a biomassa é altamente recalcitrante, e retarda o processo de decomposição. Este fator é de grande importância, principalmente, em áreas de altas temperaturas, como ocorre em grande parte do Cerrado, porque promove a decomposição mais rápida dos resíduos (MUNIZ et al., 2021).

A relação C/N baixa (menor que 20/1), provoca a perda de nitrogênio na forma de amônia. A relação C/N alta (maior que 35/1), os microorganismos não terão estoque suficiente de nitrogênio para sua reprodução. Nesse caso, o processo tenderá a ser mais lento, e a temperatura poderá não alcançar valores suficientes para eliminar os organismos patogênicos. Já a relação C/N maior que 50/1, gera deficiência de nitrogênio e o processo será mais demorado (MASSUKADO, 2016).

## **CONCLUSÃO**

Segundo os dados avaliados, o SMPD se destacou em todas as variáveis que promoveram maior relação C/N, entre as demais áreas. Isso mostra que tanto a prática de manejo (PD), quanto a rotação de culturas (soja/milho) utilizada favoreceram permanência de C no solo.

## ***Agradecimentos***

À Capes, pela concessão de Bolsa de Mestrado, e pelo projeto PROCAD-AM 2018, viabilizaram a realização deste estudo.

## Referências Bibliográficas

- ARF, O.; MEIRELLES, F. C.; PORTUGAL, J. R.; BUZETTI, S.; DE SÁ, M. E.; RODRIGUES, R. A. F. Benefícios do milho consorciado com gramínea e leguminosas e seus efeitos na produtividade em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 3, p. 431-444, 2018. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/9222/4726e615297722e4b4531f6568df2eef04e3.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2021.
- ARDENTI, F.; CAPRA, F.; LOMMI, M.; FIORINI, A.; TABAGLIO, V. Long-term C and N sequestration under no-till is governed by biomass production of cover crops rather than differences in grass vs. legume biomass quality. **Soil and Tillage Research**, v. 228, p. 1-13, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105630>.
- ARRUDA, F.; DALBEM, E.; SOUZA, K. A. Matéria orgânica do solo e sua relação com diferentes texturas do solo. **Revista Científica Eletrônica de Ciências Aplicadas da FAIT**, n. 1, p. 1-2, 2021.
- ASSAD, E. D.; MARTINS, S. C.; CORDEIRO, L. A. M.; EVANGELISTA, B. A. Sequestro de carbono e mitigação de emissões de gases de efeito estufa pela adoção de sistemas integrados. **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. Brasília: Embrapa, cap. 11, p. 153-167, 2019. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/202491/1/PL-SequestroCarbono-Assad.pdf>>. Acesso em: 3 mar. 2022.
- BARBOSA BRITO, C. F.; FONSECA, V. A.; SILVA, N. P.; BRAGA, S. S.; GODINHO, L.F.; KONDO, M. K.; PORTUGAL, A.F.; MEGDA, M. X. V. Alterações físicas e biológicas de um Eutrústox (Latossolo) sob plantio direto e preparo convencional no semiárido Brasileiro. **Ciencia del suelo**, v. 36, n. 2, p. 148-155, 2018. Disponível em: <[http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1850-20672018000200014](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672018000200014)>. Acesso em: 13 mar. 2022.
- BRITO, M. R.; SIQUEIRA, F. L. T. de; SOUSA, R. N. de; SOUSA, I. J. A. de. Estoque de carbono no solo sob diferentes condições de cerrado. **Desafios-Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v. 5, n. Especial, p. 114-124, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.20873/uft.2359-3652.2018v5nEspecialp114>>. Acesso em: 30 mar. 2022.
- BRUCE, J. P.; FROME, M.; HAITES, E.; JANZEN, H.; LAL, R.; PAUSTIAN, K. Carbon sequestration in soils. **Journal of Soil and Water Conservation, Ankeny**, v. 5, p. 382-389, 1999. Disponível em: <<https://www.semanticscholar.org/paper/Carbon-sequestration-in-soils-Bruce-Frome/d6731b2576acd58dfe7e3928078e14e09d85b1e8>>. Acesso em: 7 maio. 2022.
- CAMPANHA, M.; MARRIEL, I. E.; GONTIJO NETO, M. M.; LANDAU, E. C.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; OLIVEIRA, A. D.; CARVALHO, A.M.; MALAQUIAS, J. V.; RIBEIRO, F. P. **Emissão de N<sub>2</sub>O em sistemas de produção de milho sob plantio direto e plantio convencional em Latossolo no Cerrado**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 2020. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1133126/1/Emissao-N2O.pdf>>. Acesso em: 2 jun. 2023.
- CARDOSO, F. D. P.; ALMEIDA, M. C.; RIBEIRO, R. O.; VIANA, S. F. R.; MARQUES, E. E.; SOUZA, L. B. Expansão recente da fronteira agrícola e o consumo de produtos agroquímicos: indicadores e possíveis impactos na saúde do trabalhador do campo em Porto Nacional – Tocantins. **Revista de Administração e Negócios da Amazônia**, v.9, n.3, 2017. <https://doi.org/10.18361/2176-8366/rara.v9n3p37-59>.
- CASTELLANO, G. R.; SANTOS, L. A.; MENEGÁRIO, A. A. Carbon soil storage and technologies to increase soil carbon stocks in the South American savanna. **Sustainability**, v. 14, n. 9, p. 5571, 2022. <https://doi.org/10.3390/su14095571>.

CHAVEIRO, A. C.; BONINI, C. S. B.; FREITAS, P. G. N.; REIS, D. C. S.; OLIVEIRA, J. M. K.; SOUZA, J. A. L.; HIDALGO, G. F.; OLIVEIRA, A. B. Qualidade física e química do solo em sistema de plantio direto cultivado com hortaliças: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 9, p1-12, 2022. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i9.31564>.

CORSINI, P. C.; FERRAUDO, A. S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.2, p.289-298, 1999. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X1999000200017>.

DA ROSA FILHO, S. N.; PONTES, N. C.; NUNES, A. C. P.; MACHADO, A. L.; SANTOS, C. A.; DO CARMO, M. G. F. Banco de sementes de plantas daninhas em áreas de cultivo de tomateiro industrial em Goiás. **Global Science and Technology**, v. 11, n. 2, p.212-221, 2018. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/340875477>>. Acesso em: 7 jun. 2022

ALMEIDA, L. L. S.; FRAZÃO, L. A.; LESSA, T. A. M.; FERNANDES, L. A.; VELOSO, Á. L. C.; LANA, A. M. Q.; SOUZA, I.A.; PEGORARO, R. F.; FERREIRA, E. A. Soil carbon and nitrogen stocks and the quality of soil organic matter under silvopastoral systems in the Brazilian Cerrado. **Soil and Tillage Research**, v. 205, p. 104785, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104785>

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed., Rio de Janeiro: Embrapa. 1997. 212 p. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/169149/1/Manual-de-metodos-de-analise-de-solo-2-ed-1997.pdf>>. Acesso em: 5 jun. 2023.

FAGUNDES, M. O.; REIS, D. A.; PORTELLA, R. B.; PERINA, F. J.; BOGIANI, J. C. Qualidade de um latossolo sob plantio convencional e sistema plantio direto no cerrado baiano, Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 3, p. 281-297, 2019. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.003.0024>.

FALCÃO, K. S.; MONTEIRO, F. N.; OZÓRIO, J. M. B.; SOUZA, C. B. S.; FARIAS, P. G.S.; MENEZES, R.S.; PANACHUKI, E.; ROSSET, J. S. Estoque de carbono e agregação do solo sob diferentes sistemas de uso no Cerrado. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)**, v. 55, n. 2, p. 242-255, 2020. DOI: 10.5327/Z2176-947820200695.

FEARNSIDE, P. M. Uso da terra na Amazônia e as mudanças climáticas globais. **Floresta Amazônica**, v. 10, n. 2, p. 21, 2022. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/362824128>>. Acesso em: 10 jul. 2022.

FEITOSA JÚNIOR, F. R.; REIS, D. A.; PORTELLA, R. B.; SANTOS, J. R. S.; PERINA, F. J.; BOGIANI, J. C. Sistemas de manejo e parâmetros da matéria orgânica de um solo do cerrado baiano, Brasil. **Embrapa Territorial-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, v. 10, n. 3, p. 298-312, 2019. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.003.0025>.

FILIZOLA, H. F.; LUIZ, A. J. B.; MAIA, A. D. H. N.; HERNANI, L. C. Atributos físico-hídricos e estoque de carbono de solos de áreas sob irrigação em Itaí, SP. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 23, n. 2, p. 6-22, 2022. <http://dx.doi.org/10.7867/1983-1501.2021v23n2p6-22>.

FLORENCE, E. A. S.; Caione, G.; Schoninger, E. L.; Ferreira, F. M.; Junior, G. D. F. S. Estoque de Carbono e atributos físicos do solo, sob diferentes usos em pastagens na Amazônia Norte mato-grossense. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 4, n. 2, p. 1902-1909, 2021. <https://doi.org/10.34188/bjaerv4n2-027>.

HANKE, D.; DICK, D. P. Estoque de carbono e mecanismos de estabilização da matéria orgânica do solo: uma revisão. **Revista Científica Agropampa**, v. 2, n. 2, p. 171-190, 2019. Disponível em: <<https://periodicos.unipampa.edu.br/index.php/Agropampa/article/view/9681/21450>>. Acesso em: 9 fev. 2022.

JIMÉNEZ, E. I.; GARCIA, V. P. Relationships between organic carbon and total organic matter in municipal solid wastes and city refuse composts. **Bioresource Technology**, v. 4 n. 3, p. 265-272, 1992. [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(92\)90012-M](https://doi.org/10.1016/0960-8524(92)90012-M).

JUNGES, A. L.; SANTOS, V. Y.; MASSONI, N. T.; SANTOS, F. A. C. Efeito estufa e aquecimento global: uma abordagem conceitual a partir da física para educação básica. **Experiências em Ensino de Ciências**. Cuiabá, v. 13, n. 5, p. 126-151, 2018.

JOHNSON, J. M. F.; REICOSKY, D. C.; ALLMARAS, R. R.; SAUER, T. J.; VENTEREA, R. T.; DELL, C. J. Greenhouse gas contributions and mitigation potential of agriculture in the central USA. **Soil and Tillage Research**, v. 83, n. 1, p. 73-94, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.02.010>.

LEONARD, M. D.; MICHAELIDES, E. E.; MICHAELIDES, D. N. Energy storage needs for the substitution of fossil fuel power plants with renewables. **Renewable Energy**, v. 145, p. 951-962, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.066>.

MARTINS FILHO, J.B.; MENESES, K. C. C.; FILHO, A. L. B.; FEITOSA, C. E. L.; FARIAS, M. F. Atributos físico-hídricos do solo sob diferentes sistemas de manejos no trópico úmido maranhense. **Scientific Electronic Archives**, v. 13, n. 9; p. 38-43, 2020. <http://dx.doi.org/10.36560/13920201030>.

MASSUKADO, L. M. **Compostagem**: nada se cria, nada se perde; tudo se transforma. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Brasília. 2016. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/311608968\\_Compostagem\\_nada\\_se\\_cria\\_nada\\_se\\_perde\\_tudo\\_se\\_transforma](https://www.researchgate.net/publication/311608968_Compostagem_nada_se_cria_nada_se_perde_tudo_se_transforma)>. Acesso em: 19 jul. 2023.

MATOS, E. S., CONCEIÇÃO, M. C. G.; RODRIGUES, R. A. R.; BIDONE, E. D.; CORDEIRO, R. C. **Estoques de carbono do solo sob integração lavoura-pecuária-floresta**. Embrapa Agrossilvipastoril, cap 14, p. 253-259, 2019. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/200356/1/2019-cpamt-agrossilvipastoril-part-4-cap-14-estoque-carbono-solo-sob-ilpf-p-253-259.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2022.

MEDINA, B. F. Influência de dois métodos de preparo de área na compactação de um Latossolo Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.9, p. 67-71, 1985. Disponível em: <<https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=8491698>>. Acesso em: 22 jun. 2022.

MUNIZ, M. P.; PINHO COSTA, K. A.; SEVERIANO, E. C.; BILEGO, U. O.; ALMEIDA, D. P.; NETO, A. E. F.; LANA, M. A.; LEANDRO, W. M.; DE CASTRO DIAS, M. B. Soybean yield in integrated crop-livestock system in comparison to soybean-maize succession system. **The Journal of Agricultural Science**, v. 159, n. 3-4, p. 188-198, 2021. <https://doi.org/10.1017/S0021859621000393>

NUNES, H. B.; KATO, E.; SÁ, M. A. C. D.; ROSA, V. A.; CARVALHO, A. S.; SOARES NETO, J. P. Influência da temperatura sobre a agregação do solo avaliada por dois métodos. **Ciência Florestal**, v. 29, n.2, p. 496-507, 2019. <https://doi.org/10.5902/1980509830949>.

PERUSSO, R. L. S.; BONINI, C. S. B.; NASCIMENTO, C. A. S.; SOUZA, J. F. D., LUPATINI, G. C.; SOUZA, H. A.; PEDRO, F. G. Distribuição do tamanho de poros em um Latossolo Vermelho em sistema integrado de produção agropecuária. **Colloquium Agrariae**, v.15, n.2, p. 51-60, 2019. DOI: 10.5747/ca.2019.v15.n2.a284.

PMAE/PN-TO. **Plano Municipal de Água e Esgoto de Porto Nacional**. Prefeitura de Porto Nacional. 2018. Disponível em: <[https://www.portonacional.to.gov.br/images/audiencia\\_publica%20-%20doc/Minuta%20PMAE\\_v1.5.pdf](https://www.portonacional.to.gov.br/images/audiencia_publica%20-%20doc/Minuta%20PMAE_v1.5.pdf)>. Acesso em: 10 jan. 2023.

PRIBYL, D. W. A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor. **Geoderma, Amsterdam**, v. 156, n. 1, p. 75-83, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.02.003>.



REIS, A. S.; CASTRO, A. M. C.; MATSUMOTO, L. S.; REIS, L. C.; REIS, P. F. S. Manejo da adubação em sistema de plantio direto nos atributos químicos, físicos e biológicos de um Latossolo Vermelho cultivado com milho. **Revista Cultivando o Saber**, v. 12, n. 3, p. 1-13, 2019. Disponível em: <<https://cultivandosaber.fag.edu.br/index.php/cultivando/article/view/938>>. Acesso em: 11 ago. 2023.

REIS, D. A.; FAGUNDES, M. O.; FEITOSA JÚNIOR, F. R.; PORTELLA, R. B.; PERINA, F. J.; BOGIANI, J. C. Qualidade de um latossolo cultivado com algodão sob plantio convencional e sistema plantio direto no Cerrado brasileiro. In: REDIN, E. (Org.). **Ciências rurais em foco**. Belo Horizonte: Poisson, v. 6, cap. 7, p. 56-66. 2022. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1143740>>. Acesso em: 13 ago. 2023.

RIBEIRO, J. M.; FRAZÃO, L. A.; CARDOSO, P. H. S.; OLIVEIRA, A. L. G.; SAMPAIO, R. A.; FERNANDES, L. A. Fertilidade do solo e estoques de carbono e nitrogênio sob sistemas agroflorestais no Cerrado Mineiro. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 2, p. 913-923, 2019. <https://doi.org/10.5902/1980509825310>.

RIBEIRO, P. E. de A. **Implementação de análise de nitrogênio total em solo pelo método de Dumas**. Sete Lagoas.: Embrapa Milho e Sorgo, p. 1-26, 2010. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/880845>>. Acesso em: 5 maio 2023.

ROSA, R.; SANO, E. E.; ROSENDO, J. S. Estoque de carbono em solos sob pastagens cultivadas na bacia hidrográfica do rio Paranaíba. **Sociedade & Natureza**, v. 26, n.2, p. 333-351, 2014. <https://doi.org/10.1590/1982-451320140210>.

SANTANA, J.; LIMA, E.; KOMATSU, R.; SILVA, W.; & RIBEIRO, M. I. Caracterização física e química de solo em sistemas de manejo plantio direto e convencional. **Enciclopédia biosfera**, v. 15, n. 27, p. 1-22, 2018. Disponível em: <<https://www.conhecer.org.br/enciclop/2018a/agrar/caracterizacao%20fisica.pdf>>. Acesso em: 23 maio 2023.

SANTOS, R. A.; SILVA, S. M. C.; CARNEIRO, V. A.; OLIVEIRA, A. L. R.; MILHOMEM, A. V. Sistema de Plantio direto: conservação e manutenção da capacidade produtiva dos solos do Cerrado Goiano. **Revista Sapiência: Sociedade, Saberes e Práticas Educacionais (UEG)**, v. 7, n. 2, p. 230-255, 2018.

SEPLAN. Secretaria do Planejamento e Orçamento. **Tocantins: perfil socioeconômico dos municípios**. Porto Nacional - TO. 2015.

SILVA, A. G.; ASSIS, R. L.; OLIVEIRA, C. A. A.; FERREIRA, C. J. B.; TEIXEIRA, I. R.; ALMEIDA, K. L.; DO CARMO, E. L. Variabilidade dos atributos físicos do solo e dinâmica da palhada em sistema integração lavoura-pecuária no cerrado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 18, n. 3, p. 429-440, 2019. DOI: 10.18512/1980-6477/rbms.v18n3p429-440.

SILVA, C. F. O.; STROHER, A. L.; ARAÚJO, J.; REMPEL, C.; MACIEL, M. J. Projeto piloto de análises de solos de uma propriedade rural do Vale do Taquari. **Revista Destaques Acadêmicos**, v. 12, n. 3, p. 8-23, 2020. <http://dx.doi.org/10.22410/issn.2176-3070.v12i3a2020.2378>.

SIQUEIRA, M. G.; FIORELLI, E. C.; SANTOS, W. P.; MACHADO, C. B.; SANTOS, W. P.; VIEIRA, A. S.; SOUZA, S. P.; SCHLINDWEIN, J. A. Biomassa microbiana e carbono orgânico do solo sob diferentes manejos e sucessão de culturas. **Extensão rural: práticas e pesquisas para o fortalecimento da agricultura familiar**, v. 2, n. 1, p. 126-138, 2021. DOI 10.37885/210303685.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. New York, John Wiley & Sons, 1994. 496p. Disponível em: <[https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=7kCQch\\_YKoMC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Humus+chemistry:+genesis,+composition,+reactions&ots=LJw2i65Vvt&sig=pqVh9-vK3yEi-9VQAvLtYcibZN4#v=onepage&q=Humus%20chemistry%3A%20genesis%2C%20composition%2C%20reactions&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=7kCQch_YKoMC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Humus+chemistry:+genesis,+composition,+reactions&ots=LJw2i65Vvt&sig=pqVh9-vK3yEi-9VQAvLtYcibZN4#v=onepage&q=Humus%20chemistry%3A%20genesis%2C%20composition%2C%20reactions&f=false)>. Acesso em: 12 maio. 2022.



STEVENSON, F. J. **Cycles of soil:** carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. New York: John Wiley & Sons, 1986. 380p.

SOUZA, L. H. C.; MATOS, E. S.; MAGALHÃES, C. A. S.; DE LA TORRE, E. R.; LAMAS, F. M.; LAL, R. Soil carbon and nitrogen stocks and physical properties under no-till and conventional tillage cotton-based systems in the Brazilian Cerrado. **Land Degradation & Development**, v. 29, n. 10, p. 3405-3412, 2018. <https://doi.org/10.1002/ldr.3105>.

TAVARES, R. L. M.; FARHATE, C. V. V.; ASSIS, R. L. Plantas de cobertura e seus benefícios ao solo. **Anuário de Pesquisas Agricultura-Resultados 2020**, v. 3, p. 1-264, 2020. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/H-Nascimento/publication/360365314\\_ANUARIO\\_DE\\_PESQUISAS\\_AGRICULTURA\\_-RESULTADOS\\_2020/links/62728e16b1ad9f66c8a11a6e/ANUARIO-DE-PESQUISAS-AGRICULTURA-RESULTADOS-2020.pdf#page=40](https://www.researchgate.net/profile/H-Nascimento/publication/360365314_ANUARIO_DE_PESQUISAS_AGRICULTURA_-RESULTADOS_2020/links/62728e16b1ad9f66c8a11a6e/ANUARIO-DE-PESQUISAS-AGRICULTURA-RESULTADOS-2020.pdf#page=40)>. Acesso em: 02 fev. 2022.