

REVISTA
DESAFIOS

ISSN: 2359-3652

V. 11, n. 7, outubro/2024. Dossiê Especial: Agroenergia Digital
DOI: https://doi.org/10.20873/Agroenergia_2024_v11_n7_3

ATRIBUTOS QUÍMICOS E VARIAÇÃO NO ESTOQUE DE CARBONO EM SOLOS DE CERRADO SOB PASTAGEM

CHEMICAL ATTRIBUTES AND CARBON STOCK VARIATION IN CERRADO SOILS UNDER PASTURE

ATRIBUTOS QUÍMICOS Y VARIACIÓN DE LAS RESERVAS DE CARBONO EN SUELOS DE CERRADO BAJO PASTOREO

Thiago Oliveira Guida:

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Tocantins-UFT, Palmas -TO, Brasil.
E-mail: thiagoguida@mail.uft.edu.br. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-4122-8306>

Flávia Lucila Tonani:

Docente do Mestrado 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>

Domingos Bonfim Ribeiro dos Santos:

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

Rosinete Nogueira de Souza:

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

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

Como citar este artigo:

GUIDA, T. O.; TONANI, F. L.; SANTOS, D. B. R. dos; SOUZA, R. N. de. Atributos químicos variação de estoque de carbono e em solo de cerrado sob pastagem. **Desafios. Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**. Palmas, v. 11, n. 7, p. 1 - 19, out. 2024. DOI: https://doi.org/10.20873/Agroenergia_2024_v11_n7_3

RESUMO

A atividade agropecuária contribui para o aumento de gases de efeito estufa, como o dióxido de carbono, devido a desmatamentos, especialmente no Brasil, onde o Cerrado perdeu 13% da cobertura vegetal entre 1990 e 2010. Este estudo visa quantificar o estoque de carbono em solos de Cerrado sob diferentes estados de degradação, incluindo áreas de mata nativa, pastagem recente, pastagem em bom estado e áreas de pastagem degradada. O estudo foi realizado na Fazenda Alta Mira, no Tocantins, e as variáveis estudadas incluem densidade do solo, teor de umidade, teor de matéria orgânica e carbono no solo, cálculo de calagem e adubação e estoque de carbono no solo. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em parcelas subdivididas, sendo que nas parcelas o sistema e nas subparcelas a profundidade, com 4 repetições em cada profundidade, totalizando 32 parcelas. As variáveis estudadas foram: concentração de nutrientes, densidade do solo, teor de umidade, teor de matéria orgânica, carbono e estoque de carbono no solo. A análise mostrou que os sistemas de pastagens melhoraram a fertilidade natural do solo e mantiveram a condição natural do solo com relação ao estoque de carbono.

Palavras-Chave: Efeito estufa, Cerrado, fertilidade do solo, matéria orgânica, estoque de carbono.

ABSTRACT

Agricultural activities contributed to the increase in greenhouse gases, such as carbon dioxide, due to deforestation, especially in Brazil, where the Cerrado lost 13% of plant cover between 1990 and 2010. This study aims to quantify the carbon stock in Solos of Cerrado on different states of degradation, including areas of native forest, recent pasture, pasture in good condition, and areas of degraded pasture. The study was carried out at Fazenda Alta Mira, not Tocantins, and the variables studied include density of only, humidity theory, organic matter and carbon theory not only, calculation of calagem and adubação and carbon stock not only. The experimental design used was entirely random in subdivided plots, being that the plots or system are subplots at depth, with 4 repetitions at each depth, totaling 32 plots. The variables studied are: concentration of nutrients, density of soil, moisture content, organic matter content, carbon and carbon stock not only. The analysis showed that pasture systems improved natural fertility alone and maintained the natural condition alone in relation to carbon stock..

Keywords: Greenhouse effect, Cerrado, soil fertility, organic matter, carbon stock.

RESUMEN

A atividade agropecuária contribui para o aumento de gases de efeito estufa, como o dióxido de carbono, devido a desmatamentos, especialmente no Brasil, onde o Cerrado perdeu 13% da cobertura vegetal entre 1990 y 2010. Este estudo visa quantificar o estoque de carbono em solos de Cerrado sob diferentes estados de degradação, incluyendo áreas de mata nativa, pastagem recente, pastagem em bom estado y areas de pastagem degradada. O estudo foi realizado na Fazenda Alta Mira, no Tocantins, e as variáveis estudadas incluyen densidade do solo, teor de umidade, teor de matéria orgânica e carbono no solo, cálculo de calagem e adubação e estoque de carbono no solo. El delineamiento experimental utilizado para o internamente casualizado em parcelas subdivididas, sendo que nas parcelas o sistema y nas subparcelas a profundidade, com 4 repeticiones en cada profundidade, totalizando 32 parcelas. Como variaveis estudadas foram: concentração de nutrientes, densidade do solo, teor de umidade, teor de matéria orgânica, carbono e estoque de carbono no solo. A análise mostrou que os sistemas de pastagens melhoraram a fertilidade natural do solo and mantiveram a condition natural do solo com relação ao estoque de carbono.

Palavras-Chave: Efeito estufa, Cerrado, fertilidade do solo, matéria orgânica, estoque de carbono

INTRODUÇÃO

Atualmente a atividade agropecuária passou a ter maior destaque pois promove a segurança alimentar ao mesmo tempo que coloca em risco o equilíbrio ambiental, pela alta liberação de CO₂ na atmosfera.

No Brasil, estudos como o de FREITAS et al. (2018), mostram que a retirada de ecossistemas naturais para a implantação de sistemas de cultivos levou a uma redução do conteúdo de carbono no solo menores que aqueles encontradas na condição original do solo. A retirada da vegetação natural e o revolvimento do solo diminuem a remoção do dióxido de carbono aceleram a mineralização do carbono orgânico aumentando as perdas na forma de CO₂ para a atmosfera. Dados do IPCC (2019) revelam que atividade agropecuária é responsável pela emissão por 23% do GEE devido a mudança no uso da terra e processos de degradação do solo.

Neste contexto, o Cerrado se destaca pois é tido como “hotspot”, região rica em biodiversidade, e muito vulnerável, por conta do grande crescimento do desmatamento visando a produção agropecuária, atividades industriais, de mineração e crescimento urbano que ocorre na região (KLINK; MACHADO, 2005).

Apesar do cerrado ocupar uma área de 203,4 milhões de ha, sendo 55 milhões de hectares ocupados com pastagens cultivadas, cerca de 80% estão degradadas ou em processo de degradação contribuindo para o desequilíbrio de carbono no ambiente. No entanto, em sistemas agrícolas e pastagens bem manejadas O IPCC (2020) considera que o potencial de sequestro de carbono do solo é de 0,4 a 8,6 Gt CO₂ eq por ano, com o extremo superior da faixa equivalente a quase 1,5 vezes as emissões anuais dos Estados Unidos.

Fica claro como é importante a realização de estudos sobre o comportamento de diferentes sistemas de manejo do solo para o estoque de carbono, e como elas podem contribuir para este processo, visando entender como é possível intervir nas práticas agropecuárias que vem ocorrendo no Brasil e de forma mais específica no estado do Tocantins em áreas de cerrado.

Diante do exposto, o presente estudo visa quantificar o estoque de carbono em solos de Cerrado sob diferentes estados de degradação, abrangendo áreas de mata nativa, pastagem recente, pastagem em bom estado e áreas de pastagem degradada.

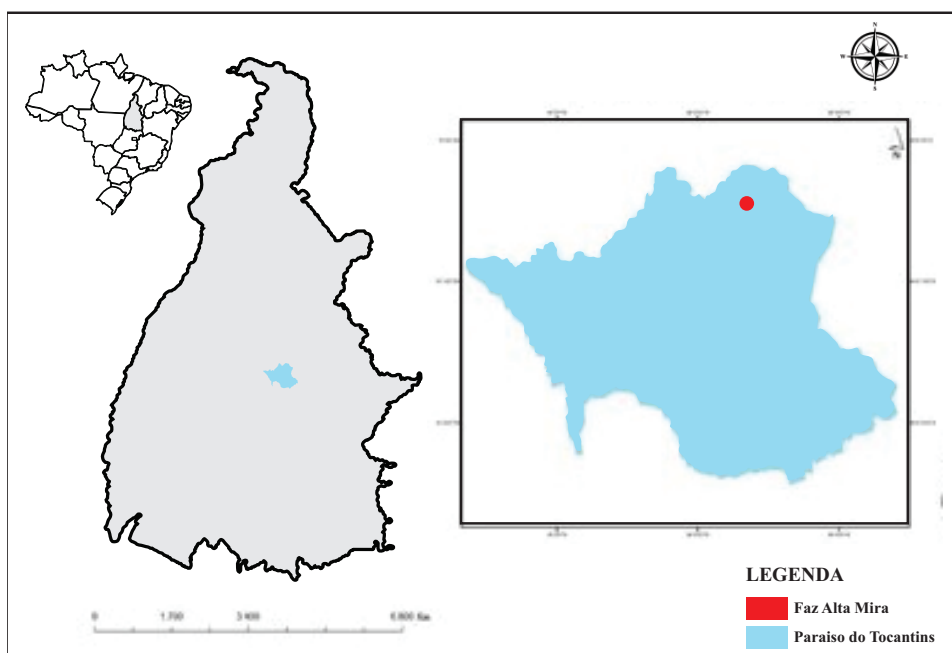
MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização do local

Este estudo foi desenvolvido na Fazenda Alta Mira, localizada no município de Paraíso do Tocantins – TO, coordenadas 10°04'35" S, 48°46'10" O. A altitude média do município é de 387 metros (SEPLAN, 2017). A precipitação média é de 1900 mm, com uma temperatura média de 27°C. O município de Paraíso do Tocantins é classificado por Köppen (1928) como C2 wA'a' que é definido como: clima úmido subúmido, com moderada deficiência hídrica no inverno. A região onde está localizada a Fazenda Alta Mira apresenta vegetação de cerrado e solos do tipo Plintossolos (SEPLAN, 2017).

A Figura 1 abaixo demonstra a localização do município de Paraíso do Tocantins em relação ao estado do Tocantins e a localização da Fazenda Alta Mira em relação ao município.

Figura 1 - Localização da Fazenda Alta Mira, no município de Paraíso do Tocantins - TO



Fonte: Próprio autor

Nessa propriedade rural cujo bioma é o Cerrado, com fitofisionomia caracterizada como “Cerradão”, tem-se diferentes tipos de sistemas e estados de degradação do solo, como: a) solo sob pastagem bem manejada; b) solo sob pastagem recém-formada; c) solo sob pastagem degradada e d) solo sob mata nativa, que estão apresentados na Figura 2.

Figura 2 - Tipos de sistemas avaliados: a) solo sob pastagem bem manejada (PB); b) solo sob pastagem recém-formada (PRF); c) solo sob pastagem degradada (PD) e d) solo sob mata nativa (MN)



Fonte: Próprio autor

Coleta de dados

A coleta foi realizada no mês de maio de 2018, onde o delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em parcelas subdivididas, sendo que nas parcelas o sistema e nas subparcelas a profundidade. Foram avaliados 4 sistemas de manejo: solo sob pastagem bem manejada, solo sob pastagem recém-formada, solo sob pastagem degradada e solo sob mata nativa. As áreas com pastagem são compostas por capim braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf), sendo que a pastagem bem manejada foi formada há 20 anos, a pastagem recém-formada (1 ano), e a pastagem degradada formada há 10 anos. A vegetação de mata nativa nunca sofreu intervenção antrópica. Nas áreas de pastagem tem ocorrido desde o ano de 2015 a aplicação de herbicidas Tordon e Dominum, sendo indicados para o controle de dicotiledôneas indesejáveis com porte arbóreo, arbustivo e subarbustivo em pastagens, juntamente com a ureia em uma proporção de 15 kg para 2000 litros de água. Foram consideradas duas profundidades, 0-10 e 10-20 cm, com 4 repetições em cada profundidade, totalizando 32 parcelas.

O cálculo da necessidade de calagem foi realizado de acordo com o método da saturação por bases, que também foi utilizado por Rodrigues; Azevedo; Leônidas; Costa (1998), sendo obtida por meio da equação 1, a seguir.

$$NC = ((V2-V1)*CTC)/P.R.N.T. \quad [\text{Equação 1}]$$

Em que:

- V2 = Saturação por bases de acordo com a cultura (%);
- V1 = Saturação por bases em função do solo;
- CTC = Capacidade de troca de cátions;
- P.R.N.T. = Poder relativo de neutralização total do calcário.

Para o cálculo da adubação necessária, buscou-se elevar o teor de fósforo para 6 mgdm^{-3} que é o nível adequado desse nutriente, para isso buscou-se a quantidade de pentóxido de difosfato (P_2O_5) em kg ha^{-1} que deveria ser necessária na constituição do adubo superfosfato triplo, segundo Rodrigues; Azevedo; Leônidas; Costa (1998).

Foram coletadas amostras indeformadas no local de estudo buscando a identificação de áreas homogêneas para a melhor qualidade dos dados levantados, com 8 sub amostras em cada área (solo sob pastagem bem manejada, solo sob pastagem recém-formada, solo sob pastagem degradada e solo sob mata nativa. O solo coletado foi mantido nos anéis de kopeck, com as extremidades cobertas por papel alumínio para evitar a perda de material, e transferidos para um recipiente para ser levado ao laboratório e submetido à análises.

As análises de textura do solo e macronutrientes foram realizadas em laboratório particular e as análises de umidade, matéria mineral, matéria orgânica, carbono total e densidade foram realizadas no Laboratório de Solos, da Universidade Federal do Tocantins - UFT, Campus Palmas.

Determinação dos parâmetros de solo Densidade do solo

Para a determinação da densidade do solo foi usado o método do anel volumétrico, proposto por Embrapa (1997). Sendo necessário a determinação do volume do anel por meio da equação 2 a seguir:

$$V = (\pi.d^2 / 4).h \quad [\text{Equação 2}]$$

Em que:

- V é o volume do anel (cm^3);
- d é o diâmetro do anel (cm);
- h é a altura do anel (cm).

O solo coletado passou pela secagem em estufa a 105°C, por 24 horas para a determinação de sua massa. Com os valores de massa do solo e volume do anel foi possível calcular o valor da densidade pela equação 3:

$$D = m / v \quad [\text{Equação 3}]$$

Sendo:

- D a densidade aparente do solo (g/cm³);
- m a massa do solo seco (g);
- v o volume do anel (cm³).

Teor de Umidade do solo

Para determinação do teor de umidade foi utilizada a metodologia descrita pela Embrapa (2017), em que foi pesada uma determinada quantidade de amostra de solo e após isso foi transferida para uma estufa a 105- 110°C, deixando nessa condição por 24 horas. Após esse período a amostra foi retirada da estufa, deixando esfriar por um tempo e foi pesada novamente. Com os valores dos pesos em mãos os valores foram aplicados na equação 4 a seguir:

$$U = ((a - b) / a) \quad [\text{Equação 4}]$$

Em que:

- U é a umidade do solo;
- a é o peso da amostra úmida (g);
- b é o peso da amostra seca (g).

Teor de Matéria Orgânica (MO) e Carbono Total (CT)

O teor de matéria orgânica (MO) segundo metodologia proposta por Davies (1974). O método de Calcinação “Loss of Ignition” consiste em separar 4 g de solo previamente seco a 105°C em estufa, e mufla para o seu aquecimento a 500°C por 5 horas. Após o fim desse processo a amostra é pesada e a diferença entre o peso inicial (4g) e o final corresponde ao teor de matéria orgânica. Com essa mesma metodologia é possível determinar o teor mineral do solo, sendo esse valor referente a massa de solo resultante após o período de 5 horas a 500°C na mufla para estimar o teor de C total do solo, sendo utilizado o fator 2 proposto por Pribyl (2010), afirmando ser esse valor mais preciso que o fator “van Bemmelen” de 1,724, comumente usados para estimar o teor de MO em solos, a partir de C.

Estoque de Carbono no solo

Os estoques de carbono (em t ha⁻¹) foi determinado pela metodologia de Rosa, Sano; Rosendo (2014), em cada camada do solo estudado pela equação 5:

$$EC = \text{teor de C ou N} \times ds \times e \quad [\text{Equação 5}]$$

Em que:

- Teor de C = Teor de carbono orgânico (%);
- ds = densidade do solo (g cm⁻³);
- e = espessura da camada de solo (cm).

Análise Estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância com o propósito de conhecer as diferenças significativas entre os tratamentos pelo procedimento ANOVA. As médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, para caracterizar as diferenças entre os tratamentos. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa computacional Sisvar ©.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados da Tabela 1 sobre a granulometria dos solos permitem classificá-los como em textura de média a argilosa. Analisando-se o pH comparando com os padrões do IAC (2018) percebe-se que a acidez do solo nas áreas estudada varia de alta a muito alta, obtendo valores de 4,60 para pastagem bem manejada, 4,31 para recém-formada, 4,21 para a degradada e de 4,16 para mata nativa em profundidade de 0-10 cm, na profundidade de 10-20 cm de solo os valores foram de 4,68 para bem manejada, 4,59 para recém-formada, 4,26 para degradada e 4,05 para mata nativa, percebendo-se uma pequena redução da acidez, porém não suficiente para mudar os níveis de classificação de alta a muito alta.

Os teores de alumínio tendem a ser maiores em pastagens nativas e irem reduzido na seguinte ordem PD, PRF, PBM, reforçando a importância da correção do solo em regiões de cerrado tropical. Conseqüentemente, a saturação por alumínio também pode ser considerada alta em todas as áreas avaliadas. Para a área de PB foi calculada uma necessidade de calagem de 2,50 t ha⁻¹ de calcário com P.R.N.T de 70%, em conjunto com uma adubação fosfatada de 86 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo. Para a área

recém- formada a necessidade de calagem foi de 5,5 t ha⁻¹ de calcário com P.R.N.T de 70% e uma adubação fosfatada de 185 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo. E para a área degradada a necessidade de calagem foi de 8,5 t ha⁻¹ de calcário com P.R.N.T de 70%, ainda com uma adubação fosfatada de 272 kg ha⁻¹. É importante destacar a necessidade de bom senso na aplicação da adubação, devendo o mesmo ser realizado de forma gradativa até que até que o solo alcance níveis adequados do nutriente, visando assim evitar futuros problemas com eutrofização dos corpos hídricos próximos as áreas. O calcário dolomítico seria mais indicado para as áreas de pastagem bem manejada e recém-formada, pois a relação Ca/Mg já está adequada. Porém, na pastagem degradada para atender a relação 2:1 de cálcio e magnésio seria mais conveniente utilizar o calcário calcítico.

A CTC dos solos em áreas bem manejadas e recém-formadas são considerada alta segundo Sousa; Lobato (2004), com valores em média superiores à 11 cmolc/dm³, proporcionando bom potencial de fertilidade ao solo. Já para solo de MN e PD verifica-se uma menor CTC que tende a diminuir na camada superior que pode ser devido a menor deposição de MO e lixiviação de partículas finas com maior potencial de cargas para as camadas mais profundas devido as exposições maiores do solo nestas condições.

Quanto a saturação por bases, a mesma apresentou comportamento contrário a concentração de alumínio, os valores caracterizaram as áreas como de baixa saturação por bases para bem manejada e recém-formada e de muito baixa para degradada e de mata nativa em ambas as profundidades, com valores de 42,15% para bem manejada, 29,97% para recém- formada, 8,26% para a degradada e de 7,84% para mata nativa em profundidade de 0-10 cm, na profundidade de 10-20 cm de solo os valores foram de 33,29% para bem manejada, 29,25% para recém-formada, 7,41% para degradada e 8,89% para mata nativa. Em profundidade estes valores sofrem pouca redução, mas matem a mesma tendência.

Observou-se que os valores de potássio a uma profundidade de 0-10 cm foram médios segundo os padrões da IAC (2018), para a área de pastagem bem manejada e para a área de pastagem degradada, sendo de 2,4 mmolc/dm³ e de 2,6 mmolc/dm³ respectivamente, apresentaram-se alto para a área de pastagem recém-formada com valor de 5,3 mmolc/dm³ e baixo para a área de mata nativa, com valor de 1,3 mmolc/dm³.

Na profundidade de 10-20 cm de solo, os valores mantiveram-se, sendo de 2,0 mmolc/dm³ e de 1,9 mmolc/dm³ para a área bem manejada e degradada, respectivamente. Na recém-formada o valor se manteve o mesmo (5,3 mmolc/dm³) e para a área de mata nativa ocorreu um pequeno aumento, com o valor de 1,4 mmolc/dm³. Vilela et al. (2004) destacam que o potássio é o segundo elemento mais requisitado pelas plantas, porém nas áreas de cerrado sua concentração normalmente é bem pequena, não sendo o suficiente para suprir a necessidade das culturas por um longo período. Além disso, pelo fato dos solos de cerrado apresentarem uma baixa capacidade de troca catiônica (CTC) e pela sua forma catiônica (K⁺) esse elemento pode sofrer lixiviação.

As áreas bem manejada e degradada apresentam valores médios e isso mostra a retirada e perda do nutriente com o uso e degradação resultados dos anos ocupados com pastagem (20 anos).

Outro elemento importante de ser analisado é o teor de fósforo no solo, uma vez que o é um fator limitante para produções em regiões de cerrado e por apresentar baixa disponibilidade nestas áreas. Souza et al. (2004) destacam que alguns fatores influenciam a absorção do P pelas plantas, entre eles a espécie cultivada, textura do solo, pH, entre outros. O mesmo autor ainda enfatiza a importância de ser realizada a correção da acidez do solo, para que por meio dela ocorra a elevação do pH, e permita que as plantas absorvam o nutriente com mais qualidade.

Observando os dados apresentados pela análise do solo e comparando-os aos limites de interpretação fornecidos por Sousa; Lobato (2004), constata-se que os valores estão médios para bem manejada, baixos para recém-formada, muito baixos para degradada e baixos para mata nativa. Na profundidade de 0-10 cm, os valores foram de 5,35 mgdm⁻³ para área bem manejada, 2,15 mgdm⁻³ para área de recém-formada, 1,55 mgdm⁻³ para pastagem degradada e de 2,83 mgdm⁻³ na área de mata nativa. Quando considerado o perfil de 10-20 cm de solo, os resultados não variaram muito, sendo que as áreas bem manejada e recém-formada apresentaram os maiores resultados, porém ainda abaixo do nível ideal. Os valores foram de 3,59 mgdm⁻³ para área bem manejada, 3,23 mgdm⁻³ para a área de recém-formada, 0,70 mgdm⁻³ para a área degradada e de 2,55 mgdm⁻³ para a mata nativa.

Tabela 1 - Atributos químicos do solo de cerrado sob pastagens em quatro sistemas de manejo.

Variáveis	pH (CaCl ₂)	P(meh)	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	CTC	V	M	Areia	Argila	Silte
		mgdm ⁻³				cmolc dm ⁻³				%			g Kg ⁻¹	
0-10 cm														
PB	4,6	5,35	0,24	3,75	1,84	0,44	8	5,83	53,83	42,15	7,02	252	366	382
PRF	4,31	2,15	0,53	3,39	1,43	0,78	12,5	5,35	17,85	29,97	12,72	135	392	473
PD	4,21	1,55	0,26	0,47	0,36	3,25	12,1	1,09	13,19	8,26	74,88	314	408	278
MN	4,16	2,83	0,13	0,43	0,47	2,73	12,1	1,03	13,13	7,84	72,61	370	411	219
0-20 cm														
PB	4,68	3,59	0,2	2,97	1,72	0,34	9,8	4,89	14,69	33,29	6,5	250	342	408
PRF	4,59	3,23	0,53	3,36	1,69	0,93	13,5	5,58	19,08	29,25	14,29	131	378	491
PD	4,26	0,7	0,19	0,3	0,23	2,59	9	0,72	9,72	7,41	78,25	302	358	340
MN	4,05	2,55	0,14	0,47	0,61	2,56	12,5	1,22	13,72	8,89	67,72	387	396	217

PB: Pastagem em bom estado; PRF: Pastagem recém-formada; PD: Pastagem Degradada; MN: Mata nativa; SB: Soma de bases; CTC: Capacidade de troca catiônica; V: Saturação por bases; M: Saturação por alumínio.

Destaca-se que os menores valores foram observados nas áreas de pastagem degradada, o que reforça o conceito de perda de vigor da área, muito influenciado pela pouca disponibilidade desse nutriente tão essencial para o desenvolvimento do capim. Em estudo realizado no sul de Goiás, D' Andréa et al. (2009) observaram resultados semelhantes para áreas de pastagem com 10 anos de plantio, sendo de 1 mgdm⁻³ tanto para 0-10 cm quanto para 10-20 cm de solo, o mesmo ocorreu na área de cerrado ocupada por cerrado “*stricto sensu*” que também apresentou valor de 1 mgdm⁻³ em ambas as profundidades. Em estudo realizado no município de Lavras (MG) por Rangel; Silva (2007), onde analisaram o estoque de carbono e nitrogênio em latossolos sob diferentes sistemas de manejo, também foram observados baixos teores de fósforo, conseguindo valores médios de 1,8 mg/dm³ a uma profundidade de 0-20 cm de solo.

Elementos como cálcio, magnésio e o pH estão relacionados pelo fato de os baixos teores de cálcio e magnésio encontrados normalmente em solos de cerrado, juntamente com altos índices de alumínio levarem a um alto nível de acidez no solo, o que por consequência interferem no desenvolvimento das raízes das plantas e no desenvolvimento da planta como um todo. Com base nos limites

de interpretação propostos por Sousa; Lobato (2004), as áreas de pastagem bem manejada e pastagem recém-formada apresentaram níveis adequados para teores de cálcio a uma profundidade de 0-10 cm, sendo de 3,75 cmolc/dm³ e 3,39 cmolc/dm³ respectivamente, a área de pastagem degradada apresentou um baixo teor de cálcio 0,47 cmolc/dm³, a área de mata nativa também demonstrou baixo teor de cálcio sendo de 0,43 cmolc/dm³. Na profundidade de 10-20 cm de solo os valores apresentaram uma pequena redução, porém mantiveram os mesmos teores. A pastagem bem manejada apresentou valor de 2,97 cmolc/dm³, recém-formada de 3,36 cmolc/dm³ mantendo assim o nível adequado, as áreas de pastagem degradada e mata nativa ainda com baixos teores apresentaram 0,30 cmolc/dm³ e 0,47 cmolc/dm³ respectivamente. Quanto aos níveis de magnésio nas áreas estudadas, os resultados para camada mais superficial do solo analisada foi de 1,84 cmolc/dm³ e 1,43 cmolc/dm³ para bem manejada e pastagem recém-formada respectivamente, estando assim em um nível adequado, porém apresentaram baixos níveis para área degradada e mata nativa, sendo de 0,36 cmolc/dm³ e 0,47 cmolc/dm³ em sequência. Na segunda profundidade do solo avaliado manteve-se o comportamento para as duas primeiras áreas com valores de 1,72 cmolc/dm³ e 1,69 cmolc/dm³, respectivamente, contribuindo para o bom resultado das duas áreas. Porém a área de mata nativa enquadrou-se com teor adequado de 0,61 cmolc/dm³ e a área degradada manteve-se como de baixo teor sendo de 0,23 cmolc/dm³.

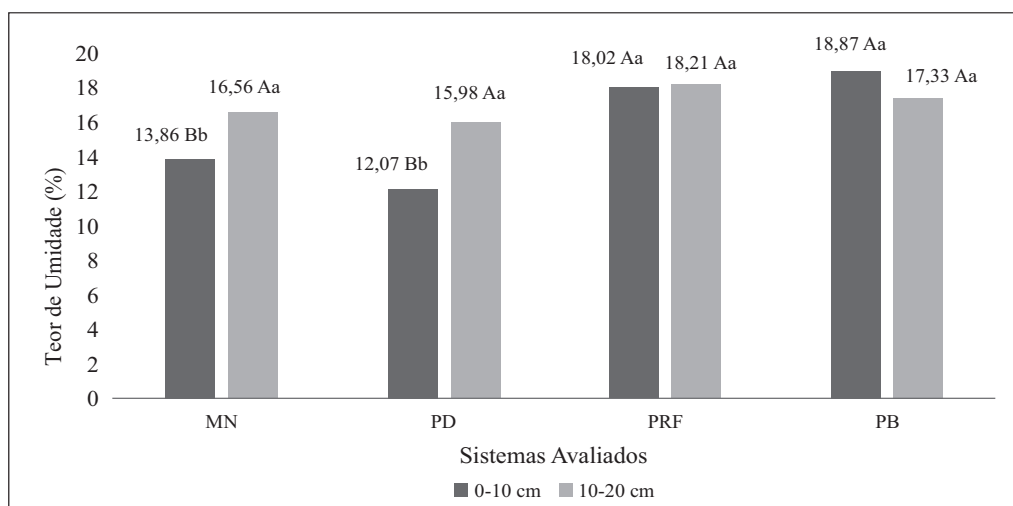
Com base na interpretação destes dados é possível sugerir uma intervenção nas áreas de pastagem por meio de calagem e adubação para elevar o pH e a saturação por bases, seguindo as recomendações de Souza; Lobato (2004), para níveis ideais de saturação de bases para forrageiras, visando assim a melhoria da qualidade do solo, além de uma melhor assimilação de nutrientes como fósforo, cálcio e magnésio pelas forrageiras ali implantadas.

Estoque de carbono no solo

Na Figura 4 são apresentados os valores de umidade para os solos avaliados, que apresentaram interação significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Observando os dados, nota-se que na profundidade de 0-10 cm, as áreas de mata nativa e de pastagem degradada foram estatisticamente semelhantes ($p > 0,05$), com valores de umidade inferiores ($p < 0,05$), as áreas recém-formada e bem manejada não diferiram entre si ($p > 0,05$), o que é justificado pela presença de cobertura do solo por meio da pastagem, o que contribui para a manutenção da temperatura, e por consequência na umidade. No segundo perfil de solo analisado as quatro áreas foram estatisticamente iguais não diferindo ao nível de 5%, pelo teste de Tukey,

Rosa; Sano; Rosendo (2014) desenvolveram estudos na Bacia Hidrográfica do rio Paranaíba, onde avaliaram o estoque de carbono em áreas de pastagem degradada, pastagens melhoradas. Neste estudo foram observados valores médios de 19,6% de umidade em área de pastagem degradada e de 25,65% em pastagem melhorada na profundidade de 0-10 cm de solo, sendo em ambos os casos valores superiores aos encontrados neste estudo, ainda sobre estas áreas, porém em profundidade de 10-20 os valores foram de 19,7% em pastagem degradada e de 24,9% na bem manejada.

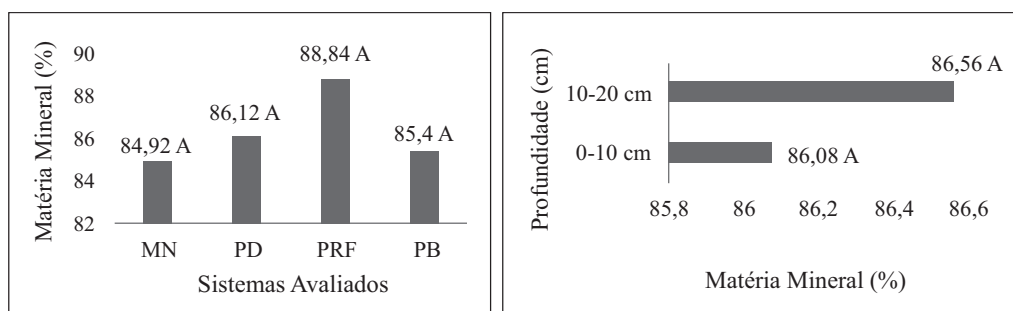
Figura 4 - Teor de umidade em solos de Cerrado, considerando duas profundidades, sob diferentes sistemas de pastagens: pastagem bem manejada (PB), pastagem recém formada (PRF), pastagem degradada (PD) e Mata nativa, em solos de cerrado do Tocantins.



Fonte: Próprio autor

Na Figura 5, estão apresentados os resultados dos teores médios de matéria mineral, avaliando os sistemas e as profundidades do solo (0-10 cm e de 10-20 cm).

Figura 5 - Matéria mineral (MM), considerando duas profundidades, em solos sob pastagem bem manejada (PB), pastagem recém formada (PRF), pastagem degradada (PD) e Mata nativa, em solos de Cerrado do Tocantins

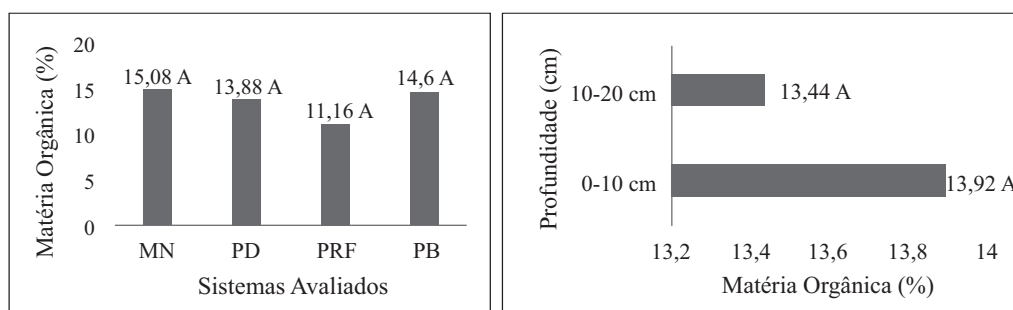


Fonte: Próprio autor

Os valores observados neste estudo para matéria mineral foram estatisticamente iguais ($p>0,05$) ao serem analisados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, não demonstrando diferenças significativas ao se comparar os sistemas avaliados e as profundidades (Figura 5).

Os valores de matéria orgânica no solo o em diferentes condições de pastagem em duas profundidades de solo apresentados na Figura 6. Os resultados foram estatisticamente iguais quando avaliados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Figura 6 - Matéria orgânica (MO), considerando duas profundidades, em solos sob pastagem bem manejada (PB), pastagem recém formada (PRF) pastagem degradada (PD) e Mata nativa em solos de cerrado do Tocantins



Fonte: Próprio autor

Os sistemas de pastagens não comprometeram o teor de MO em relação a condição natural do solo (MN). Os dados da Figura 6 demonstram que houve uma boa distribuição de MO no perfil de 0-20 cm do solo, não havendo diferenças para profundidade ($p>0,05$) e sendo muito superior à média encontrada para solos de cerrado que está em torno de 5%.

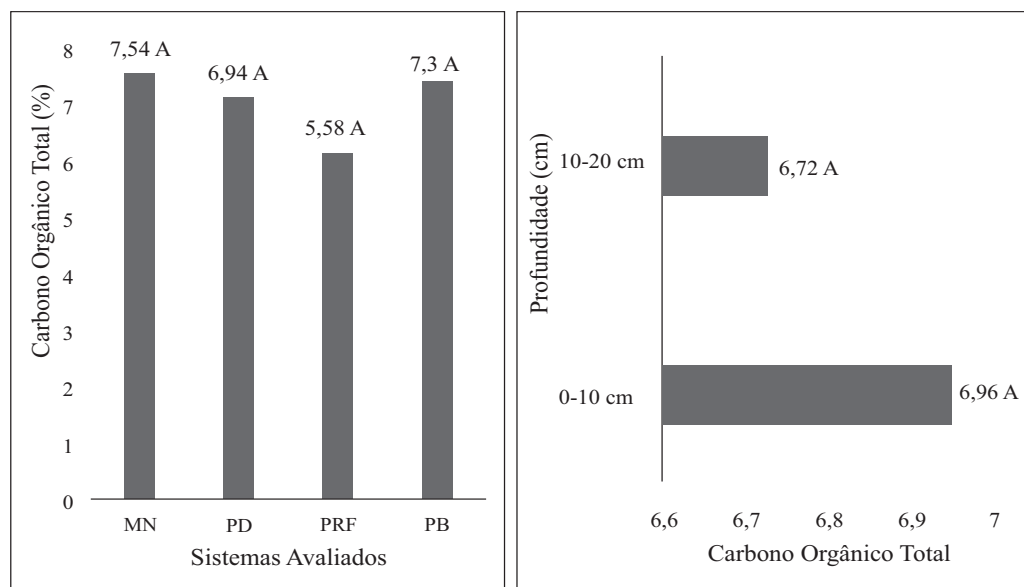
A matéria orgânica do solo é um importante indicador de qualidade do solo pois influência na retenção de água no solo, formação de agregados, CTC, atividade microbiana, pH, poder tampão entre vários outros e, assim contribui para sustentabilidade do sistema.

Os valores de carbono total são apresentados na Figura 7, e não diferiram pelo teste de Tukey, a probabilidade de 5% entre a mata nativa e as demais pastagens, embora nota-se que o carbono total em pastagens degradadas começa a diminuir. Também não houve diferença em profundidade entre os sistemas avaliados. As pastagens possuem um sistema radicular fasciculado, enquanto em espécies arbóreas e arbustivas predominam sistemas radiculares pivotantes comuns na vegetação nativa. A ausência de diferença entre os sistemas pode ser explicada pois a grande quantidade de biomassa agregada ao solo, oriunda da parte aérea das plantas presentes na MN, compensou a menor concentração de raízes na camada

do solo avaliada quando comparada as pastagens. Além disso, as pastagens degradadas aparentemente não apresentaram comprometimento no desenvolvimento do sistema radicular.

Também em região de Cerrado nos municípios de Rio Verde – GO e Montividiu – GO, Gazolla et al. (2015) analisando áreas de mata nativa, pastagem, plantio direto e integração lavoura-pecuária, foram observados valores de teor de carbono próximos aos deste estudo, sendo de 9,75% em profundidade de 0- 10 cm e de 5,64% de 10-20 cm de profundidades em área de mata, e um pouco inferiores, de 4,53% em profundidade de 0-10 cm e de 3,37% para áreas de pastagem com 10 anos de exploração. Rosa et al. (2014) observou valores inferiores em áreas de pastagem degradada na Bacia do Rio Paranaíba, sendo de 1,82% para profundidade de 0-10 cm de solo e de 1,56% em profundidade de 10-20 cm de solo.

Figura 7 - Carbono orgânico total (COT) em solos sob pastagem bem manejada (PB), pastagem recém- formada (PRF), pastagem degradada (PD) e Mata nativa em solos de cerrado do Estado do Tocantins



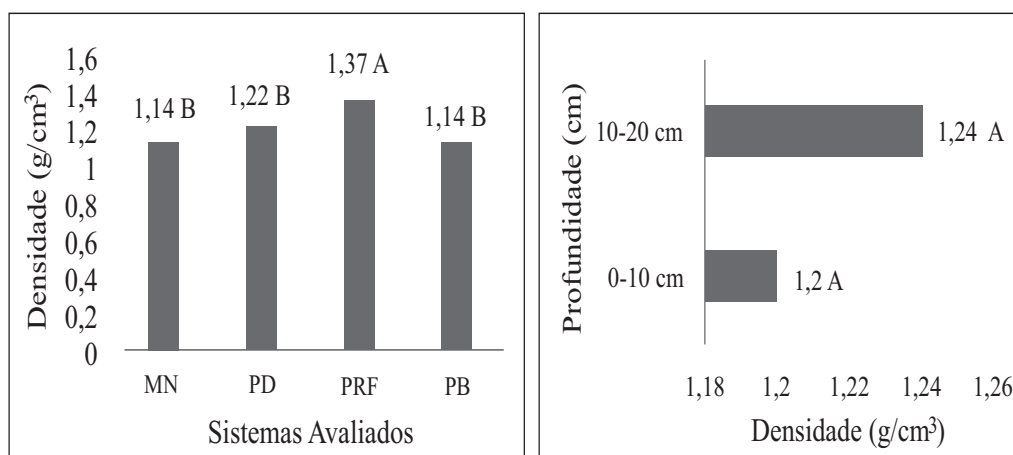
Fonte: Próprio autor

Os dados de densidade do solo comparando os sistemas são apresentados na Figura 8, onde para essa variável ocorreu diferença significativa entre os sistemas estudados ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. A maior densidade do solo foi observada na área de pastagem recém-formada, e uma provável explicação para este fato seria a alta lotação que foi colocada no pasto após a formação, com 6,8 cabeças de gado por hectare, gerando uma compactação na área pelo pisoteio excessivo.

Em área de pastagem degradada do estudo de Rosa; Sano; Rosendo (2014), foram observados valores semelhantes ($1,28 \text{ g cm}^{-3}$). Campos et al. (2016) também em áreas de pastagem com 10 anos de exploração observaram médias de $1,35 \text{ g cm}^{-3}$. Na área de mata nativa o valor observado foi de $1,30 \text{ g cm}^{-3}$ estando próximos aos resultados observados neste estudo.

Ao analisar a Figura 8 nota-se que a densidade relacionando as profundidades são estatisticamente iguais ($p>0,05$), apresentando médias de $1,20 \text{ g cm}^{-3}$ em profundidade de 0-10 cm de solo e de $1,24 \text{ g cm}^{-3}$ a uma profundidade de 10-20 cm. Ao contrário do que foi visto no estudo de Rosa; Sano; Rosendo (2014) que observou diferença na densidade do solo à medida que aumentava a profundidade do solo analisado. No presente estudo a alta presença de matéria orgânica pode ter sido um fator que contribuiu para garantir a menor densidade do solo, uma vez que está se manteve alta nas duas profundidades.

Figura 8 - Densidade dos solos sob pastagem bem manejada (PB), pastagem recém-formada (PRF), pastagem degradada (PD) e Mata nativa em solos de cerrado do Estado do Tocantins

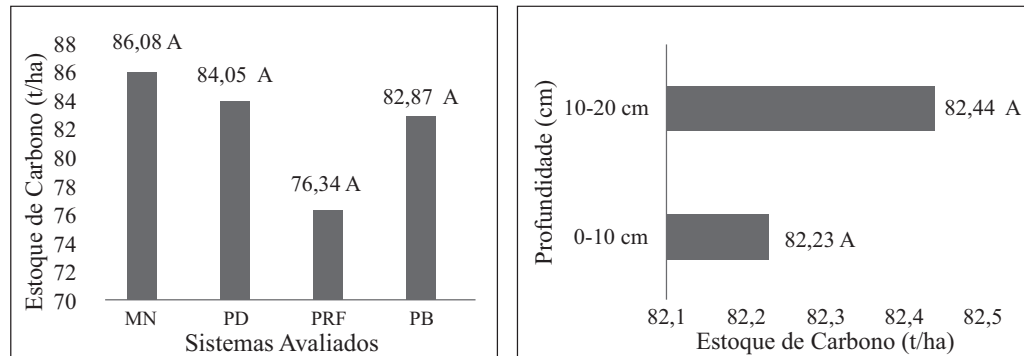


Fonte: próprio autor

Fonte: Próprio autor

Os dados de estoque de carbono são apresentados na Figura 9, são estatisticamente iguais ($p>0,05$) para os tipos de sistemas analisados. Os valores de estoque de carbono foram superiores aos encontrados por diversos autores, como os de Leite et al. (2013), que obtiveram $13,15 \text{ t ha}^{-1}$ e $14,0 \text{ t ha}^{-1}$, nas profundidades de 0-10 cm e de 10-20 cm em mata nativa, respectivamente. Em área de pastagem, constataram $8,1 \text{ t ha}^{-1}$ para 0-10 cm de solo e $10,9 \text{ t ha}^{-1}$ para profundidade de 10-20 cm.

Figura 9 - Estoque de carbono em solos sob pastagem bem manejada (PB), pastagem recém- formada (PRF), pastagem degradada (PD) e Mata nativa em solos de cerrado do Estado do Tocantins



Fonte: Próprio autor

Baldotto et al. (2015) em áreas de Cerrado ocupada com mata nativa, pastagem e agricultura, observaram resultados médios de 34,24 t ha⁻¹ mata nativa, de 26,25 t ha⁻¹ em área de pastagem. Quanto a análise do estoque de carbono em profundidade apresentado na Figura 9, não foi observado diferença significativa entre as duas profundidades estudadas (P<0,05). A semelhança na capacidade dos diferentes sistemas de pastagens em estocar carbono, pode ser atribuída às boas condições de fertilidade do solo em todas as condições. Isto favorece um bom desenvolvimento da biomassa e do sistema radicular e conseqüentemente, garante um bom estoque de carbono.

CONCLUSÕES

A análise granulométrica demonstrou que as áreas apresentaram solo em média com 38,1% de argila. Os teores de macronutrientes fósforo variaram de baixo a médio, cálcio e magnésio de baixos a adequados e variaram de médio a alto para potássio, nas quatro áreas estudadas. A falta de alguns macronutrientes, somado a baixos valores de pH, saturações por bases médias sugerem a adoção de calagem e adubação nas áreas estudadas, com exceção da mata nativa. Para a área de pastagem bem manejada, seria indicado a aplicação de 2,50 t ha⁻¹ de calcário com P.R.N.T de 70%, em conjunto com uma adubação fosfatada de 86 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo. Para a área de pastagem recém-formada a demanda de calagem foi de 5,5 t ha⁻¹ de calcário com P.R.N.T de 70% e uma adubação fosfatada de 185 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo. E para a área de pastagem degradada a necessidade de calagem foi de 8,5 t ha⁻¹ de calcário com P.R.N.T de 70%, ainda com uma adubação fosfatada de 272 kg ha⁻¹. Com base na CTC e no teor de matéria orgânica do solo das áreas avaliadas, estes podem

ser considerados como fertilidade muito boa, pouco comum as condições de cerrado.

As variáveis estudadas não tiveram diferença em profundidade, com exceção da umidade do solo que apresentou maiores índices no perfil de 10-20 de cm de solo nas áreas de mata nativa, pastagem recém-formada e pastagem degradada. A maior densidade do solo foi observada para a área de pastagem recém-formada $1,37 \text{ g cm}^{-3}$ e as demais variaram de $1,14 \text{ g cm}^{-3}$ a $1,22 \text{ g cm}^{-3}$.

A capacidade do solo em armazenar carbono não variou entre tipos de sistemas adotados, apresentando média de $82,33 \text{ t ha}^{-1}$, o que indica que os sistemas de pastagens mantiveram a condição natural do solo com relação ao estoque de carbono.

Referências Bibliográficas

- BALDOTTO, M. A.; VIEIRA, E. M.; SOUZA, D. de O.; BALDOTTO, L. E. B. Estoque e frações de carbono orgânico e fertilidade de solo sob floresta, agricultura e pecuária. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 62, n. 3, p. 301-309. 2015. Disponível em: <<http://www.ceres.ufv.br/ojs/index.php/ceres/article/download/4432/2132>>. Acesso em: 03 out. 2023. <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737X201562030010>
- CAMPOS, M. C. C.; SOARES, D. R.; NASCIMENTO, M. F.; SILVA, D. M.P. Estoque de carbono no solo e agregados em Cambissolo sob diferentes manejos no sul do Amazonas. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 11, n. 02, p. 339-349. 2016. doi:10.4136/ambiagua.1819
- DAVIES, B. E. Loss-on-ignition as an estimate of soil organic matter. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, v. 38, p. 347-353. 1974. doi 10.2136/sssaj1974.03615995003800010046x
- D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, N. M. L.; SOUZA, F. M. de M.; CURTI, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 913-923. 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000600012>
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Goiânia: Embrapa Arroz e Feijão, 2017. 574p.
- FREITAS, L. de; OLIVEIRA, I. A. de; CASAGRANDE, J. C.; SILVA, L. S.; CAMPOS, M. C. C. Estoque de Carbono de Latossolos em Sistemas de Manejo Natural e Alterado. **Ciência Florestal**, v. 28, n.1, p. 228-239, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/ZKVvx43Kkkg_gvXQ6wdjqj/?lang=pt>. Acesso em: 21 mar. 2023. <https://doi.org/10.5902/1980509831575>
- GAZOLLA, P. R.; GUARESCHI, R. F.; PERIN, A.; PEREIRA, M. G.; ROSSI, C. Q. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 02, p. 693-704. 2015.
- GUO, L. B.; GIFFORD, R. M.. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. **Global Change Biology**, v. 8, n. 4, p. 345-360. 2002. Disponível em: <<https://doi.org/10.1046/j.1354-1013.2002.00486.x>>. Acesso em: 24 set. 2023.

IAC. **Solos e recursos ambientais**. 2018. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/produtoseservicos/analisedosolo/interpretacaoanalise.php>>. Acesso em: 19 set. 2023.

IPCC. **Intergovernmental Panel on Climate Change**. Ipcch.ch. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/>>. Acesso em: 21 mar. 2023.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Revista Megadiversidade**, Brasília, v. 1, n.1. p.147-155, jul., 2005.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-map 150cmx200cm. 1928.

LEITE, L. F.; ARRUDA, F. P. de; COSTA, C. do N.; FERREIRA, J. da S.; NETO, M. R. H. Qualidade química do solo e dinâmica de carbono sob monocultivo e consórcio de macaúba e pastagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 12, p. 1257-1263. 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v17n12/v17n12a02.pdf>>. Acesso em: 19 set. 2023.

PRIBYL, D.W. A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor. **Geoderma**, v. 156, p. 75-83. 2010. DOI: 10.1016/j.geoderma.2010.02.003

RODRIGUES, A. N. A.; AZEVEDO, D. M. P.; LEÔNIDAS, F. das C.; COSTA, R. S. C. da. **Introdução de análise de solo e recomendação de adubação e calagem**. Porto Velho: Embrapa – CPAF.1998. 17p. (Circular Técnica, 39).

ROSA, R.; SANO, E. E; ROSENDO, J. dos S. Estoque de carbono em solos sob pastagens cultivadas na bacia hidrográfica do rio Paranaíba. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 26, n. 2, p. 333 -351. 2014. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/pdf/3213/321331809011.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2023.

SEPLAN. Secretaria de Planejamento e Orçamento. **Perfil socioeconômico dos municípios**, Palmas: SEPLAN. 2017. Disponível em: <<https://central3.to.gov.br/arquivo/348377/>>. Acesso em: 24 set. 2022.

SIQUEIRA NETO, M. **Estoque de carbono e nitrogênio do solo com diferentes manejos no Cerrado goiano**. 2006. Universidade de São Paulo – Esalq. Piracicaba, 2006.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado correção do solo e adubação**. Brasília: Embrapa, 2004. 416p.