



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL - BACHARELADO

**RICARDO BRASIL DA COSTA**

**ESTOQUES DE CARBONO ORGÂNICO E ATRIBUTOS QUÍMICOS/FÍSICOS DO  
SOLO SOB DIFERENTES REGIMES DE MANEJO NO CERRADO MARANHENSE**

Imperatriz - MA

2022

**RICARDO BRASIL DA COSTA**

**ESTOQUES DE CARBONO ORGÂNICO E ATRIBUTOS QUÍMICOS/FÍSICOS DO  
SOLO SOB DIFERENTES REGIMES DE MANEJO NO CERRADO MARANHENSE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

**Orientador:** Prof. Dr. Luiz Fernandes Silva Dionísio

Imperatriz - MA

2022

C838e

Costa, Ricardo Brasil da

Estoques de carbono orgânico e atributos químicos/físicos do solo sob diferentes regimes de manejo no cerrado maranhense. / Ricardo Brasil da Costa. – Imperatriz, MA, 2022.

33 f.; il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Florestal) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Imperatriz, MA, 2022.

1. Química do solo. 2. Física do solo. 3. Carbono orgânico. 4. Imperatriz - MA. I. Título.

CDU 631.41(812.1)

Ficha elaborada pelo Bibliotecário: **Mateus de Araújo Souza CRB13/955**

**RICARDO BRASIL DA COSTA**

**ESTOQUES DE CARBONO ORGÂNICO E ATRIBUTOS QUÍMICOS/FÍSICOS DO SOLO SOB DIFERENTES REGIMES DE MANEJO NO CERRADO MARANHENSE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Aprovado em 09 / 10 / 2023

**BANCA EXAMINADORA**



---

Dr. Luiz Fernandes Silva Dionísio  
Doutor em Ciências Florestais  
(Orientador)



---

Dr. Wilson Araújo da Silva  
Doutor em Ciência do Solo  
(Membro)



---

Dr. Michael Douglas Roque Lima  
Doutor em Ciência e Tecnologia da Madeira  
(Membro)

## RESUMO

Estudos que avaliem os efeitos de diferentes tipos de manejos com finalidades agrícolas sobre os solos na região Tocantina são necessários, devido a constante modificação da paisagem natural do bioma Cerrado que é predominante nesse território. Modificação essa atrelada ao estado do Tocantins, partes do Maranhão, Piauí e Bahia. Estados que formam o MATOPIBA, região onde há o avanço da expansão da pecuária e da última fronteira agrícola. O projeto teve como objetivo avaliar os estoques de carbono orgânico e atributos químicos/físicos do solo sob diferentes regimes de manejo no cerrado maranhense. O estudo foi conduzido na Fazenda Engenho Velho, localizada no município de Porto Franco, na região sul do Maranhão. A área experimental foi lavoura extensiva com histórico de pastagem (LE) e, como área de referência (controle), floresta natural estacional semidecidual do bioma Cerrado (FL). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com dois usos do solo (LE e FL), duas profundidades (0-5 e 5-10 cm) e 4 repetições. Os atributos químicos analisados foram: potencial hidrogeniônico (pH), acidez potencial ( $H^+ + Al^{3+}$ ), matéria orgânica do solo (MOS), alumínio trocável ( $Al^{3+}$ ) e estoque de carbono orgânico (ECO). O solo da FL apresentou valores maiores de MOS ( $36,98 \text{ g dm}^{-3}$ ) e ECO ( $14,65 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) na profundidade de 0-5 cm, conservando esses atributos do solo de forma mais eficiente, quando em comparação com a área de LE. A resistência do solo à penetração para área de LE foi maior do que na FL nas camadas mais profundas do solo, indicando que a intervenção antrópica ao longo do tempo afeta esse atributo físico. A densidade e a umidade de LE e FL mostraram valores similares e é possível que a formação de piçarra no solo das áreas amostradas tenha interferido nos resultados. Mascando a influência do manejo do solo.

**Palavras-chave:** Indicadores da fertilidade do solo. Matéria orgânica. MATOPIBA.

## ABSTRACT

Studies that evaluate the effects of different types of management with agricultural purposes on soils in the Tocantina region are necessary, due to the constant modification of the natural landscape of the Cerrado biome that is predominant in this territory. This modification is linked to the state of Tocantins, parts of Maranhão, Piauí and Bahia. States that form MATOPIBA, a region where livestock expansion and the last agricultural frontier are advancing. The project aimed to evaluate the organic carbon stocks and chemical/physical attributes of the soil under different management regimes in the cerrado of Maranhão. The study was conducted at Fazenda Engenho Velho, located in the municipality of Porto Franco, in the southern region of Maranhão. The experimental area was extensive farming with pasture history (LE) and, as a reference area (control), natural seasonal semideciduous forest of the Cerrado biome (FL). The experimental design was completely randomized, with two land uses (LE and FL), two depths (0-5 and 5-10 cm) and 4 replications. The chemical attributes analyzed were: hydrogen potential (pH), potential acidity ( $H^+ + Al^{3+}$ ), soil organic matter (SOM), exchangeable aluminum ( $Al^{3+}$ ) and organic carbon stock (ECO). The FL soil showed higher values of SOM ( $36,98 \text{ g dm}^{-3}$ ) and ECO ( $14,65 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) at a depth of 0-5 cm, conserving these soil attributes more efficiently when in comparison with the LE area. Soil resistance to penetration for the LE area was greater than for the FL in deeper soil layers, indicating that anthropic intervention over time affects this physical attribute. The density and moisture of LE and FL showed similar values and it is possible that the formation of slate in the soil of the sampled areas has interfered in the results. Masking the influence of soil management.

**Keywords:** Soil fertility indicators. Organic matter. MATOPIBA.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Valores médios do potencial hidrogeniônico (pH) e acidez potencial ( $H^+ + Al^{3+}$ ) em amostras de solo coletadas em junho de 2022, nas áreas de lavoura extensiva (LE) e floresta natural (FL), nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, no município de Porto Franco, Maranhão.....	23
<b>Tabela 2.</b> Valores médios de matéria orgânica do solo (MOS) em amostras de solo coletadas em junho de 2022, nas áreas de lavoura extensiva (LE) e floresta natural (FL), nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, no município de Porto Franco, Maranhão.....	23
<b>Tabela 3</b> – Valores médios de estoque de carbono orgânico (ECO) em amostras de solo coletadas em maio de 2022, nas áreas de lavoura extensiva (LE) e floresta natural (FL), nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, no município de Porto Franco, Maranhão.....	24
<b>Tabela 4</b> – Valores médios de massa úmida (MU) e massa seca (MS) de serrapilheira em área de lavoura extensiva (LE) e floresta natural (FL), coletadas em junho de 2022, no município de Porto Franco, Maranhão.....	25
<b>Tabela 5</b> – Valores médios de densidade do solo (Ds), umidade com base em massa (UMM) e umidade volumétrica (UMV) em amostras de solo coletadas em junho de 2022, na área de lavoura extensiva (LE) e floresta natural (FL) nas profundidades de 0–5 e 5–10 cm, no município de Porto Franco, Maranhão.....	26

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> - Localização da área experimental, no município de Porto Franco, região sul do estado do Maranhão.....	13
<b>Figura 2</b> - Imagens das áreas em que o projeto foi conduzido - (a) floresta natural (FL) e (b) lavoura extensiva (LE) no município de Porto Franco, região sul do estado do Maranhão.....	14
<b>Figura 3</b> - Coleta de amostra deformada de solo com o trado holandês nas áreas de lavoura extensiva (a) e Floresta Natural (b), no município de Porto Franco, região sul do estado do Maranhão .....	15
<b>Figura 4</b> - Coleta de amostras de solo indeformadas com anéis metálicos, na área de lavoura extensiva (LE), no município de Porto Franco, região sul do estado do Maranhão.....	16
<b>Figura 5</b> - Penetrômetro de impacto utilizado durante a coleta de dados referente a resistência mecânica do solo, área de floresta natural (FL) no município de Porto Franco, região sul do estado do Maranhão.....	17
<b>Figura 6</b> - Monólito de metal utilizado na coleta das amostras de serrapilheira área de lavoura extensiva (LE) no município de Porto Franco, região sul do estado do Maranhão.....	18
<b>Figura 7</b> - Determinação do potencial hidrogeniônico (pH) em amostras de solo (A e B). Determinação do teor de alumínio trocável em amostras de solo (C). Determinação da acidez potencial em amostras de solo (D) no laboratório de solos da UEMASUL- campus de Imperatriz – MA.....	19
<b>Figura 8</b> - Resistência mecânica do solo à penetração (RP) em área de lavoura extensiva (LE) e floresta natural (FL) em diferentes profundidades do solo, no município de Porto Franco, região sul do estado do Maranhão.....	25



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>12</b>
2.1 Objetivo Geral.....	12
2.2 Objetivos Específicos .....	12
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>13</b>
3.1 Cerrado Maranhense.....	13
3.2 Atributos Químicos do Solo .....	14
3.3 Atributos Físicos do Solo .....	14
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>16</b>
4.1 Localização e descrição da área de estudo.....	16
4.2 Coleta das amostras de solo .....	18
4.3 Determinação dos atributos físicos do solo.....	19
4.4 Determinação dos atributos químicos do solo .....	22
4.5 Análises estatísticas.....	23
<b>5 RESULTADOS .....</b>	<b>24</b>
<b>6 DISCUSSÃO.....</b>	<b>27</b>
<b>7 CONCLUSÃO .....</b>	<b>30</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>31</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Maranhão apresenta uma complexidade de ecossistemas, pois localiza-se entre a região Norte e Nordeste do Brasil, reunindo características do bioma Cerrado, que ocupa a maior parte no estado (64,1%), Amazônia Legal (34,0%) e o bioma Caatinga (1,1%) (ARAÚJO et al., 2016). O Cerrado Maranhense e toda biodiversidade associada, está ameaçado, pois o estado faz parte do MATOPIBA, região delimitada por Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, território onde avança a última fronteira agrícola do Brasil (BARROS; STEGE, 2019; MIRANDA et al., 2014; KLINK; MACHADO, 2005).

Nesse cenário, 44% do Cerrado é explorado pela pecuária associada ao extrativismo, com aumento da produção e da área de cultivo de grãos como soja, milho e arroz, na região centro-sul do estado do Maranhão (CAMPOS, 2020). O zoneamento ecológico-econômico do Maranhão (ZEE-MA), demonstra a proporção de cobertura de cada classe de uso do solo em relação a área total da região de planejamento, Tocantins Maranhense. Região que a cidade de Porto Franco faz parte e cerca de 23% da área utilizada é destinada para plantio agrícola (DIAS; CATUNDA, 2021).

Por essa razão, o bioma passou a ser considerado como uma fonte de *commodities* para o agronegócio, com uma notável expansão nas últimas décadas (PROCÓPIO; BARRETO, 2021; SANTANA et al., 2020). A pecuária sem manejo adequado ocasiona o decréscimo da matéria orgânica, potencial hidrogeniônico (ph) e nutrientes que compõe os atributos químicos do solo (PEREIRA, 2017). Além disso, influencia a economia, no sentido de que opções mais rentáveis podem substituir as ocupações atuais do solo (BUAINAIN; GARCIA; VIEIRA FILHO, 2017).

A identificação, diagnóstico e avaliação dos tipos de solos são formados por meio do conhecimento dos atributos químicos do solo. Isso implica na interação entre os atributos físicos, biológicos e na sua relação com as plantas, demonstrando a importância para as recomendações de adubação do solo e manejo da irrigação, para assim obter melhor rendimento agrícola (SANTOS et al., 2018).

Para Alovisi et al. (2021), o manejo do solo deve ser feito de forma sustentável, respeitando suas aptidões e limitações para o cultivo. O manejo sustentável deve garantir o uso racional desse recurso natural, considerando as classes de solo, bem como os seus atributos químicos, fato este indissociável do sucesso agrícola.

O monitoramento dos atributos do solo permite avaliar a conservação ou qualquer processo de degradação. Os indicadores de qualidade do solo como acidez ativa, estimada pelo

potencial hidrogeniônico (pH), aliado ao estoque de carbono orgânico, teores de cátions trocáveis, como o alumínio trocável ( $Al^{3+}$ ), que permitem a avaliação e o acompanhamento de alterações ocorridas num determinado ecossistema (SILVA et al., 2021).

Assim, este estudo foi desenvolvido baseando-se na seguinte hipótese: a conversão da vegetação natural do bioma Cerrado em lavoura, promove alterações nos atributos químicos/físicos e no estoque de carbono orgânico do solo.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar os estoques de carbono orgânico e atributos químicos e físicos do solo sob diferentes regimes de manejo no Cerrado Maranhense.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Estudar o nível de degradação em curso nas áreas antropizadas e propor alternativas de manejo conservacionista, para as condições edafoclimáticas locais.

Analisar a resistência mecânica do solo à penetração, umidade e densidade do solo em uma área manejada com lavoura extensiva e área de vegetação natural do Cerrado Maranhense.

Relacionar os resultados de resistência mecânica do solo à penetração, umidade e densidade do solo com as quantidades de serapilheira depositada em superfície nas áreas manejadas com lavoura extensiva e área com a vegetação natural do Cerrado Maranhense.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Cerrado Maranhense

O Cerrado é um bioma rico em biodiversidade, sendo o segundo maior do Brasil, ocupando cerca de 24% do território, área equivalente a 204 milhões de hectares. Encontra-se em uma região de importância estratégica para os interesses do país no campo da segurança alimentar. Devido a fragmentação da vegetação natural e o avanço do desmatamento na porção norte do bioma, as áreas de maiores alterações ocorrem no estado do Tocantins, partes do Maranhão, Piauí e Bahia. Estados que formam o MATOPIBA, região onde há o avanço da expansão da pecuária e da última fronteira agrícola (EMBRAPA, 2020; MMA, 2019).

O domínio do Cerrado é caracterizado por apresentar fitofisionomias e composições florísticas diversificadas que abrangem: formações florestais, savânicas e campestres. As savanas, é atribuída à sazonalidade climática a influência sobre os padrões de crescimento e reprodução das plantas (LACERDA et al., 2017).

De clima tropical, com verão chuvoso e inverno seco, o bioma Cerrado tem como principal característica a ocorrência de duas estações: uma chuvosa (outubro a abril), quando caem mais de 90% das chuvas, e uma seca (maio a setembro), com ausência quase total de chuvas (EMBRAPA, 2020). A vegetação do cerrado é tipicamente caracterizada pela presença de árvores de troncos tortuosos, baixo porte, ramos retorcidos, casca espessas e folhas grossas (MEDEIROS, 2011).

A substituição da cobertura vegetal no estado do Maranhão para implementação de cultivos agrícolas ou implantação de pastagens foi impulsionada pelo governo na década de 60 afim de expandir mais território brasileiro e desde os anos 2000 busca estratégias para conter destruição desses recursos naturais provocadas por ele. Incluindo áreas de preservação permanente e reserva legal, previstas e protegidas pelo Código Florestal (SILVA, 2019).

Em 2021, o agronegócio alcançou 27,60% do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil, reduzindo-se no primeiro trimestre de 2022 para 26,24%, com mais da metade das exportações, devido à soja e à carne (CEPEA, 2022). Boa parte deste crescimento depende da expansão das superfícies cultivadas no bioma Cerrado, que produz 52% da soja brasileira (RUDORFF; RISSO, 2015). Assim, estudos que proporcionam uma melhor compreensão da dinâmica e uso adequado do solo são relevantes, garantido produtividade sustentável.

### 3.2 Atributos Químicos do Solo

O conhecimento dos indicadores ou da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo permite aumentar a precisão do manejo da fertilidade (SANTOS JÚNIOR, 2021). O solo é considerado fértil quando contém, em quantidades suficientes e balanceadas, todos os nutrientes essenciais na forma assimilável para as plantas. De modo que, seja livre de materiais tóxicos, apresentando propriedades físicas e químicas que atendam a demanda dos vegetais (ROQUIM, 2020).

O pH do solo representa a concentração de íons de  $H^+$  na solução do solo, que tem influência na disponibilidade de nutrientes (TEIXEIRA et al., 2017). Os macros e micronutrientes estão presentes nos constituintes dos minerais e da matéria orgânica. Os macronutrientes, nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e enxofre (S) são absorvidos em maior proporção pelas plantas, enquanto o boro (B), zinco (Zn), cobre (Cu), ferro (Fe), molibdênio (Mo), cloro (Cl) e manganês (Mn), são micronutrientes, requeridos pelas plantas em menores quantidades (ROQUIM, 2020).

O interesse nos efeitos do manejo do solo sobre os estoques de matéria orgânica do solo (MOS), é crescente, devido ao aumento do armazenamento orgânico de carbono (C) em solos agrícolas contribuindo para minimizar as mudanças climáticas (SERPA et al., 2020). A MOS é formada por resíduos de animais e vegetais. Nesse sentido, se concentra mais em camadas superficiais do solo, pela maior intensidade da deposição de resíduos orgânicos bem como da variação quanto à transformação desses resíduos, onde há mais atividade da microfauna e o sistema radicular da maioria das plantas se desenvolve e absorve nutrientes (TEIXEIRA et al., 2017).

### 3.3 Atributos Físicos do Solo

As características físicas do solo são consideradas indicadores de qualidade, em que submetidas ao processo produtivo, apresentam alterações em sua estrutura natural. Desse modo, no cenário onde há tráfego de maquinários agrícolas, revolvimento e deposição de adubo na camada superficial do solo, assim como o pastejo intensivo de animais, promovem qualidade física do solo inadequada (SILVA et al., 2020; RAMOS et al., 2019; FREITAS et al., 2017; SILVA et al., 2015).

Nesse sentido, podem apresentar os seguintes parâmetros: baixa infiltração de água no solo, escoamento superficial, densidade elevada, aeração reduzida e pouco desenvolvimento radicular (BERTOLLO; LEVIEN, 2019). O estudo dos atributos físicos permite avaliar a

textura, estrutura, resistência mecânica à penetração, umidade e densidade do solo (SILVA et al., 2020). De forma, que se torna uma ferramenta de auxílio na tomada de decisão, para verificação da influência do manejo na degradação do solo, o que permite uma agricultura sustentável (RAMOS et al., 2019).

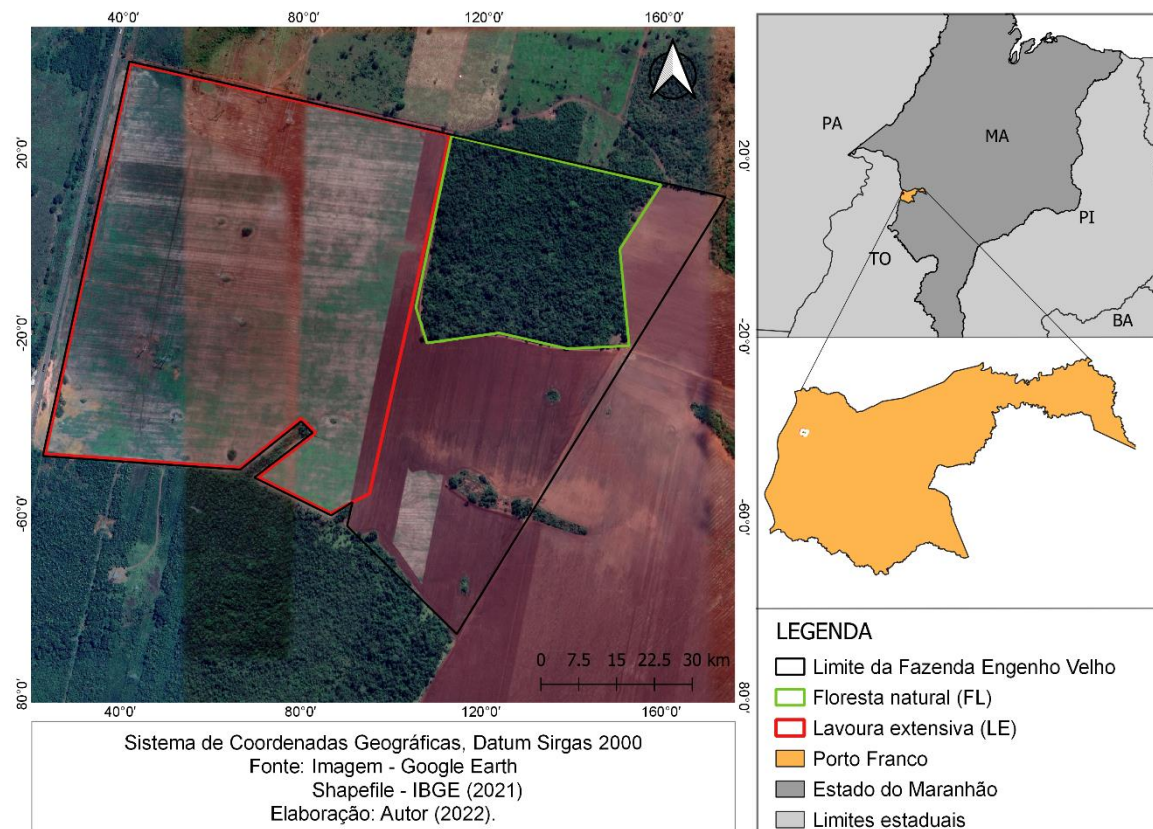
A capacidade dos ecossistemas em armazenar ou emitir carbono atmosférico é determinada por uma série de processos físicos, químicos e bióticos atuando em diferentes direções e intensidades (ROQUETTE, 2018). Nesse sentido, a serapilheira florestal apresenta influência do clima e de outros fatores que estão relacionados a alterações da sua produção, como a idade, estágio de sucessão, fitofisionomia e contribui de forma direta no armazenamento de carbono atmosférico (MOREIRA; RODRIGUES, 2021; ROQUETTE, 2018).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Localização e descrição da área de estudo

O estudo foi conduzido no mês de junho de 2022, na Fazenda Engenho Velho, localizada no município de Porto Franco, na região sul do Maranhão (coordenada central da fazenda: Latitude: 6° 20' 29" Sul, Longitude: 47° 24' 6" Oeste), região Nordeste do Brasil, inserida no bioma Cerrado (Figura 1).

**Figura 1.** Localização da área experimental, no município de Porto Franco, região sul do estado do Maranhão. Imagem das áreas de lavoura extensiva (LE) e floresta natural (FL).



**Fonte:** Autor (2022).

O município de Porto Franco está localizado na Mesorregião Sul Maranhense, configurou-se como o distrito agroindustrial da microrregião, por sua localização estratégica para a distribuição das *commodities* do agronegócio, por meio de rotas rodoviária, hidroviária e ferroviária que interligam a região central ao norte-nordeste (MANDUJANO, 2018).

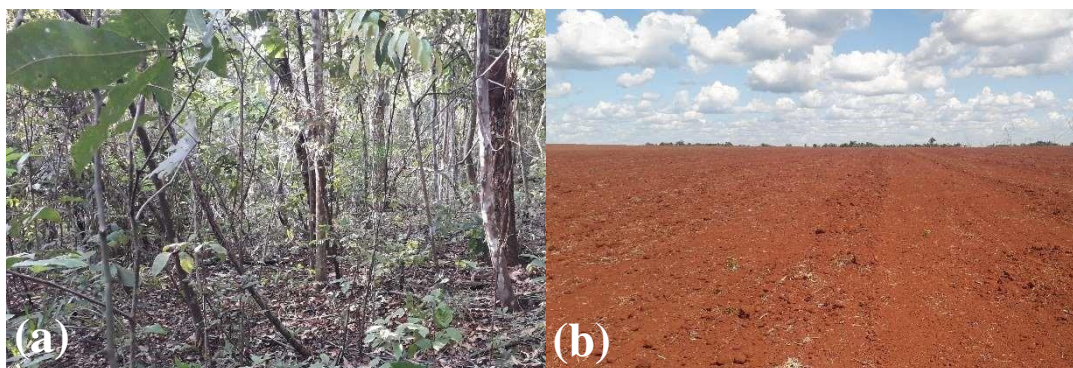
O clima predominante na região é tropical quente e úmido, caracterizado como *Aw*, segundo a classificação de Köppen-Geiger, com duas estações bem definidas. O período chuvoso, que se concentra entre novembro e maio, apresenta registros estaduais de precipitação pluviométrica em torno de 250 mm mensais. A estação seca, que se estende entre os meses de



junho a outubro, apresenta média mensal de 17 mm, com precipitação média anual de 1.418 mm. As oscilações térmicas durante o ano variam entre 21,5 e 32,1 °C (LABGEO, 2002).

As áreas experimentais foram previamente selecionadas considerando os principais usos da terra no sul do estado: Lavoura Extensiva (LE) (Figura 2A) e Floresta Natural (FL) (Figura 2B).

**Figura 2-** Imagens das áreas em que o estudo foi conduzido - (a) floresta natural (FL) e (b) lavoura extensiva (LE).



**Fonte:** Autor (2022).

Dessa forma, foi avaliada uma área de cultivo de grão ou lavoura extensiva com histórico de pastagem. Como referência, foi selecionada uma área não antropizada, com vegetação natural típica de Cerrado. Ambas estão situadas na mesma posição do relevo e adjacentes. O relevo das áreas é plano, o solo é classificado como LATOSSOLO VERMELHO, com transição difusa entre os horizontes, intemperizados, com a predominância de caulinita e óxidos de ferro e alumínio na fração argilomineral ( $k_i$  e  $k_r < 2,0$ ) (SANTOS et al., 2018). Apresenta classe textural argilosa com  $310 \text{ g dm}^{-3}$  de areia,  $180 \text{ g dm}^{-3}$  de silte e  $510 \text{ g dm}^{-3}$  de argila.

O histórico da área foi fornecido pelo proprietário da Fazenda Engenho Velho, o qual estima que a vegetação primária das áreas de LE foi retirada gradualmente nos anos de 1980 e convertida em cultivo de arroz e milho. Ainda nessa década, essas culturas foram substituídas por gramínea *Urochloa brizantha* cv. Marandu (*Brachiaria brizantha*) e *Andropogon* (*Andropogon gayanus Kunth*), utilizando-se como fertilização de implantação  $42 \text{ kg. ha}^{-1}$  do fertilizante comercial NPK 04-30-10, sem histórico de fertilização de manutenção. O manejo adotado foi corte a cada dois anos até meados de 2002.

Entre 2002 e 2014 a área passou a ser cultivada com cana-de-açúcar, consistindo em dois plantios e onze colheitas. O solo foi submetido à gradagem, nivelamento e subsolagem seguidos de abertura de sulcos com 30 cm de profundidade, espaçados em 1,50 m. A fertilização ocorreu de acordo com a análise de solo, porém não há registros das quantidades utilizadas. O plantio foi realizado com densidade de gemas igual a 14 gemas sadias por metro linear de sulco.

As colheitas foram realizadas com despalha à fogo e corte manual. De 2014 a 2020, a área voltou a ser utilizada para pecuária e, surgindo remanescentes de capim braquiarião e andropogon. De 2020 a 2022 ocorreu a limpeza da área, com pá carregadeira, seguida de gradagem e calagem para o cultivo de soja.

A FL é caracterizada como floresta estacional semidecidual, sem registro de manejo, e desde 1979 se encontra em seu estado original de vegetação característica do bioma Cerrado. Esta área faz parte da porção do terreno delimitada como Reserva Legal.

#### 4.2 Coleta das amostras de solo

Em cada área experimental delimitou-se uma gleba representativa, de aproximadamente 0,75 ha, onde foram definidos quatro pontos de coleta, equidistantes 50 m entre si, registrados com o auxílio do Sistema de Posicionamento Global (GPS) de marca Garmin modelo gpsmap 64s. As coletas foram realizadas em junho de 2022, ao final do período chuvoso da região. Para a coleta das amostras de solo nas áreas de LE e FL foi utilizado o horizonte superficial dos perfis, nas profundidades 0-5 e 5-10 cm. Para a coleta das amostras deformadas de terra foi utilizado um trado tipo holandês da marca Solotest confeccionado em aço inoxidável. Cada profundidade foi identificada nas laterais do equipamento, e o solo foi retirando com auxílio de uma espátula para que não houvesse perda de amostra (Figura 3A e 3B). Após a coleta, as amostras de terra foram acondicionadas em saco plásticos abertos, posteriormente secas, destorroadas e passadas por peneira com 2 mm de abertura, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA).

**Figura 3** - Coleta de amostra deformada de solo com o trado holandês nas áreas de lavoura extensiva (a) e floresta natural (b), no município de Porto Franco, região sul do estado do Maranhão.



Fonte: Autor (2022).

As amostras indeformadas foram coletadas em trincheiras abertas em cada uma das unidades amostrais, em anéis cilíndricos metálicos com volume conhecido de 100 cm<sup>3</sup>. Os anéis foram inseridos de forma paralela à superfície do solo e as amostras coletadas em duas profundidades distintas, de 0-5 e de 5-10 cm, com três repetições em cada profundidade (Figura 4A e 4B). O material recolhido foi transportado ao Laboratório de Solos da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL) para determinação da massa úmida e a massa seca, após ser submetido a secagem em estufa de marca Odontobras modelo El 1.3 de circulação forçada de ar ajustada para 105°C por 72 horas.

**Figura 4-** Coleta de amostras de solo indeformadas com anéis metálicos, na área de lavoura extensiva (LE), no município de Porto Franco, região sul do estado do Maranhão.



Fonte: Autor (2022).

### 4.3 Determinação dos atributos físicos do solo

Nas duas áreas experimentais (LE e FL) foram coletadas amostras de solo indeformadas, para a análise da densidade, umidade com base em massa e umidade com base em volume. Amostras de serrapilheira, para a determinação do estoque de matéria orgânica depositada na superfície do solo, além de dados referentes à resistência mecânica a penetração do solo, com um penetrômetro de impacto, conforme a metodologia de Stolf (1991).

O penetrômetro utilizado para a coleta de dados referentes a resistência mecânica a penetração do solo é da marca Sonda Terra®, produzido em aço inoxidável 304, com altura de lançamento de 40 cm, capaz de realizar os registros em camadas de até 70 cm de profundidade (Figura 5). Em cada unidade amostral foram realizadas quatro repetições.

**Figura 5-** Penetrômetro de impacto utilizado durante a coleta de dados referente a resistência mecânica do solo, área de floresta natural (FL) no município de Porto Franco, região sul do estado do Maranhão.



**Fonte:** Autor (2022).

Para a determinação da densidade do solo ( $D_s$ ), variável necessária para o cálculo de estoque de carbono orgânico do solo, foram realizadas coletas de amostras indeformadas de terra nas profundidades 0-5 e 5-10 cm. Foram abertas trincheiras de 20 x 20 x 10 cm, e utilizado anéis cilíndricos metálicos, com volume de 100 cm<sup>3</sup>, conforme metodologia descrita em Teixeira et al. (2017).

Por meio das amostras indeformadas foram determinados a densidade do solo ( $D_s$ ) (Equação 1), a umidade com base em massa (UMM) (Equação 2) e a umidade com base em volume (UMV) (Equação 3). A partir dos dados coletados pelo penetrômetro foi determinada a resistência do solo à penetração (RP) (Equação 4).

Os valores da  $D_s$  foram obtidos pela seguinte equação:

$$D_s = \frac{m_s}{V} \quad (1)$$

Onde:

$D_s$ : Densidade do solo em kg dm<sup>-3</sup> (equivalente a g cm<sup>-3</sup>)

$M_s$ : Massa seca do solo (g)

$V$ : Volume do cilindro (cm<sup>3</sup>)

A umidade com base em massa foi obtida conforme a equação:

$$UMM = \frac{M_a}{M_s} \quad (2)$$

Em que:

UMM – umidade com base em massa ( $\text{g g}^{-1}$ )

ma – massa de água (massa úmida do solo – massa seca) (g)

Ms – massa seca (g)

A umidade com base em volume foi obtida por meio da seguinte equação:

$$UMV = UMM * Ds \quad (3)$$

Em que:

UMV – umidade com base em volume ( $\text{cm cm}^{-3}$ )

UMM – umidade com base em massa ( $\text{g g}^{-1}$ )

Ds – densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ )

A resistência mecânica a penetração foi obtida pela seguinte equação:

$$RP = \left( \frac{M \cdot g \cdot h}{A} * x \right) * \left( \frac{M}{M} + m \right) + \left( M + \frac{m}{a} \right) g \quad (4)$$

Em que:

RP – Resistência mecânica a penetração

M – Massa que provoca o impacto = 4 kg

A – área da base do cone =  $1,29 \times 104 \text{cm}^2$

g – gravidade =  $9,81 \text{ m/s}^2$

m – massa dos demais componentes do penetrômetro excluída a de impacto = 3,2 kg

h – altura de queda da massa que provoca o impacto = 0,4 m

x – penetração unitária ocasionada por um impacto ( $\text{cm/impacto}$ ).

O estoque do carbono orgânico do solo foi calculado para cada área e profundidade, conforme a Equação 5:

$$EC = CO \times Ds \times e \quad (5)$$

Onde:

EC: estoque de carbono orgânico do solo ( $\text{Mg ha}^{-1}$ );

CO: teor de carbono orgânico no solo;

Ds: densidade do solo;

e: espessura da camada de solo.

As amostras de serrapilheira foram coletadas nas proximidades de cada unidade amostral, quatro amostras por ponto, com o auxílio de um monólito de metal feito por encomenda em serralheria, com dimensões de  $25 \times 25 \times 10 \text{ cm}$  (Figura 6).

**Figura 6-** Monólito de metal utilizado na coleta das amostras de serrapilheira área de lavoura extensiva (LE) no município de Porto Franco, região sul do estado do Maranhão.

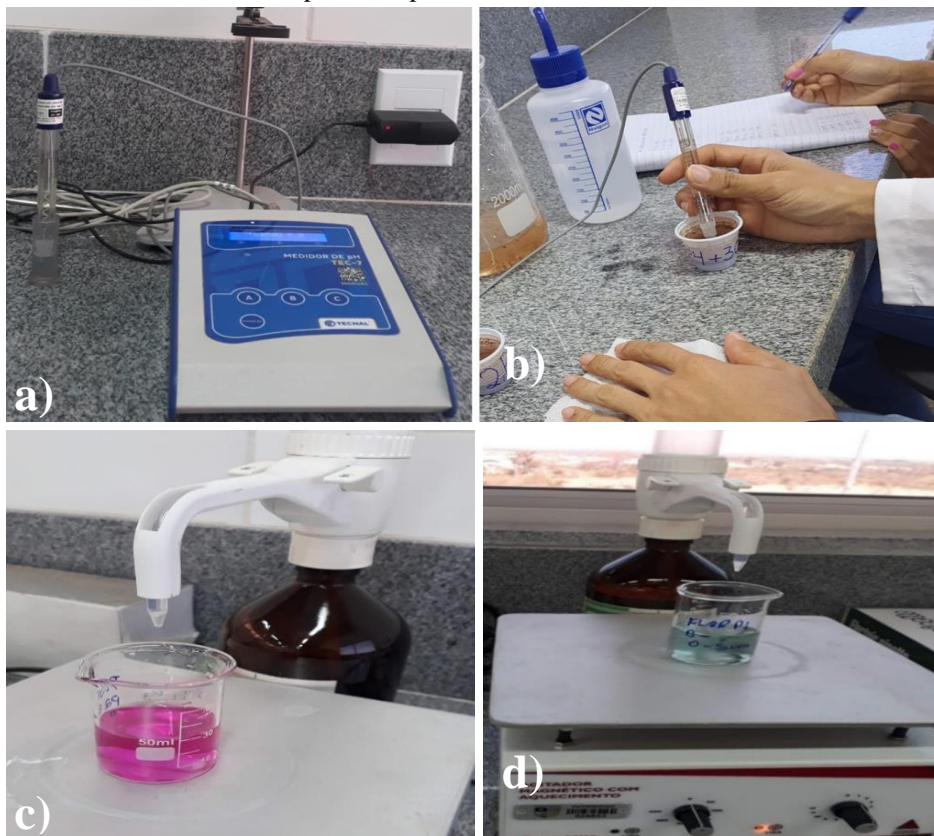


Fonte: Autor (2022).

#### 4.4 Determinação dos atributos químicos do solo

Na TFSA foram avaliados os seguintes atributos químicos: potencial hidrogeniônico (pH), teor de matéria orgânica do solo (MOS), acidez potencial (H + Al), alumínio trocável ( $Al^{3+}$ ) e estoque de carbono orgânico (ECO), conforme metodologia de Teixeira et al. (2017) (Figura 7A, 7B, 7C, 7D). As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Solos da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL) em setembro de 2022.

**Figura 7** - Determinação do potencial hidrogeniônico (pH) em amostras de solo (A e B). Determinação do teor de alumínio trocável em amostras de solo (C). Determinação da acidez potencial em amostras de solo (D) no laboratório de solos da UEMASUL- campus de Imperatriz – MA.



Fonte: Autor (2022).

#### **4.5 Análises estatísticas**

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x2 (2 profundidades x 2 tipos de manejo do solo). Para garantir as premissas da análise de variância (ANAVA), os dados foram primeiramente verificados quanto à normalidade de resíduos e homocedasticidade de variância pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett a 5% de significância, respectivamente, por meio do *software* R versão 4.0.2. Após a análise de variância, as variáveis que apresentaram diferenças estatisticamente significativas foram submetidas ao teste de Tukey a 5% de significância, para comparação de médias.

## 5 RESULTADOS

Não houve interação significativa entre usos do solo e profundidade para as variáveis pH e H + Al. A área FL apresentou maior teor de H + Al e menor valor de pH, quando comparada à área de LE. Os valores médios de H + Al não apresentaram diferenças significativas entre as profundidades avaliadas, porém o valor de pH foi maior na camada de 0-5 cm (Tabela 1).

**Tabela 1.** Valores médios do potencial hidrogeniônico (pH) e acidez potencial (H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup>) em amostras de solo coletadas em junho de 2022, nas áreas de lavoura extensiva (LE) e floresta natural (FL), nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, no município de Porto Franco, Maranhão.

Fator		pH	H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )
Uso do solo	LE	6,25 a	5,89 b
	FL	4,83 b	10,41 a
Profundidade (cm)	0-5	5,64 a	8,73 a
	5-10	5,43 b	7,56 a
CV (%)		5,41	27,59

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Fonte: Autor (2022).

Houve interação significativa entre os usos do solo e profundidades para os teores de matéria orgânica do solo (MOS) (Tabela 2). Os teores de MOS apresentaram declínio em profundidade tanto na área de LE, como na de FL. O maior teor de MOS encontrado foi no uso do solo FL 36,98 g dm<sup>-3</sup>, na profundidade de 0-5 cm do solo, e 25,58 g dm<sup>-3</sup> na camada 5-10 cm. Na área LE, os teores de MOS variaram de 23,52 a 20,45 g dm<sup>-3</sup>, em 0-5 e 5-10 cm, respectivamente.

**Tabela 2.** Valores médios de matéria orgânica do solo (MOS) em amostras de solo coletadas em junho de 2022, nas áreas de lavoura extensiva (LE) e floresta natural (FL), nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, no município de Porto Franco, Maranhão.

Profundidade (cm)	Usos do solo	
	LE	FL
0 - 5	23,52 aB	36,98 aA
5 - 10	20,45 bB	25,58 bA
CV (%)	9,57	

\*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e pela mesma letra minúscula na coluna, não apresentam diferença estatística entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Fonte: Autor (2022).

Houve interação significativa entre os usos de solo LE e FL na camada de 0-5 cm. O estoque de carbono orgânico (ECO) na profundidade de 0-5 cm, na área de FL (14,65 Mg C ha<sup>-1</sup>) foi maior que LE (8,59 Mg C ha<sup>-1</sup>). Entretanto, os valores de FL e LE não apresentaram diferença significativa na camada de 5-10 cm. A área LE não apresentou diferenças significativas entre as profundidades (Tabela 3).



**Tabela 3** – Valores médios de estoque de carbono orgânico (ECO) em amostras de solo coletadas em junho de 2022, nas áreas de lavoura extensiva (LE) e floresta natural (FL), nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, no município de Porto Franco, Maranhão.

Fator	Usos do solo	
	LE	FL
Profundidade do solo (cm)	ECO (Mg C ha <sup>-1</sup> )	
0 - 5	8,59 aB	14,65 aA
5 - 10	8,51 aA	8,28 bA
Total	17,1	22,93
CV (%)	8,53	

\*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha, e pela mesma letra minúscula na coluna não apresentam diferença estatística entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

**Fonte:** Autor (2022).

Foi observado diferença significativa para a quantidade de serrapilheira depositada na superfície do solo de LE e FL. A área de FL apresentou 11,35 t/ha de massa úmida e 9,99 t/ha de massa seca, enquanto LE apresentou 3,77 t/ha e 3,61 t/ha, respectivamente (Tabela 4). A presença do componente arbóreo no sistema de FL explica a diferença entre estes valores por meio da ciclagem de nutrientes.

**Tabela 4** – Valores médios de massa úmida (MU) e massa seca (MS) de serrapilheira em área de lavoura extensiva (LE) e floresta natural (FL), coletadas em junho de 2022, no município de Porto Franco, Maranhão.

Fator		Massa úmida	Massa seca
		(t/ha)	
Uso da terra	LE	3,77 a	3,61 a
	FL	11,35 b	9,99 b

\*Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Fonte:** Autor (2022).

A maior deposição da serrapilheira na área de FL não promoveu efeitos nas variáveis Ds, UMM e UMV, que não apresentaram diferença significativa entre usos do solo e nas diferentes profundidades avaliadas (Tabela 5).

**Tabela 5** – Valores médios de densidade do solo (Ds), umidade com base em massa (UMM) e umidade volumétrica (UMV) em amostras de solo coletadas em junho de 2022, na área de lavoura extensiva (LE) e floresta natural (FL) nas profundidades de 0–5 e 5–10 cm no município de Porto Franco, Maranhão.

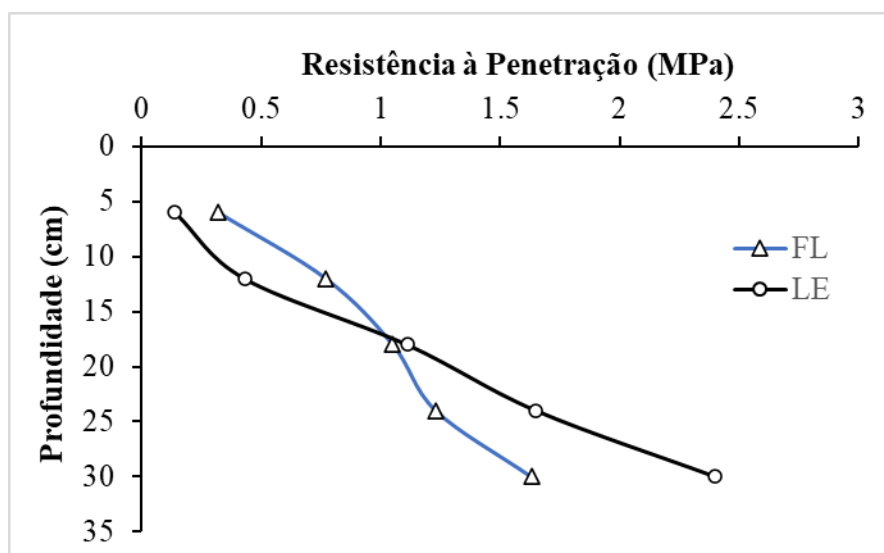
Fator		Ds (g cm <sup>-3</sup> )	UMM (g g <sup>-1</sup> )	UMV (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )
Uso da terra	LE	2,01 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>
	FL	1,92 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>
Profundidade (cm)	0 – 5	1,95 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>
	0 – 5	1,89 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>
	5 – 10	2,07 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>
	5 – 10	1,96 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>

\*Médias seguidas por ns não diferem entre si pelo teste ANOVA a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor (2022).

A resistência mecânica à penetração (RP) é um dos parâmetros utilizados para determinar o nível de compactação de um solo. Com relação a RP, o solo em ambas as áreas experimentais não apresentou diferença significativa na média dos 6 cm iniciais. A profundidade de 24 – 30 cm foi a única em que o resultado médio de RP demonstrou diferença significativa entre LE e FL. Na Figura 8 é possível observar a tendência da RP nas duas áreas.

**Figura 8:** Resistência mecânica do solo à penetração (RP) em área de lavoura extensiva (LE) e floresta (FL) em diferentes profundidades do solo, no município de Porto Franco, região sul do estado do Maranhão.



Fonte: Autor (2022).

## 6 DISCUSSÃO

A área de lavoura extensiva (LE) apresentou valor médio de pH de 6,25. A área apresenta histórico de agricultura e, no ano de 2022, foi cultivada com soja. Devido ao plantio dessa cultura, foi realizada correção da acidez do solo com calcário dolomítico. O calcário é empregado para neutralizar a acidez do solo, uma vez que tem a finalidade de elevar o pH para valores entre 5,5 a 6,5, e dessa forma diminuir os níveis de toxidez do alumínio e/ou manganês, e auxiliar as plantas na absorção de nutrientes necessários, elevando a sua produtividade (VELOSO et al., 2007).

Dessa forma, o alumínio (Al) é um elemento de interesse agrícola, pois pode tornar-se tóxico para as plantas (LEMOS; SILVA; NETO, 2016). Com relação a acidez trocável, valores iguais ou superiores a  $0,50 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$  podem comprometer a disponibilidade de nutrientes para as plantas (SOBRAL et al., 2015). O valor médio de  $\text{Al}^{+3}$  na área de floresta natural (FL) foi de  $0,31 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ . Na área LE, o valor de  $\text{Al}^{+3}$  foi  $0 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ , devido à aplicação de calcário para correção do solo (OLIVEIRA et al., 2005).

O pH do solo se destaca como um potencial indicador da produtividade de grãos. Determinadas culturas apresentam diferente sensibilidade à acidez, para cultivos agrícolas ou pastagem, o pH de 6,0 é considerado adequado (CQFS, 2016). Nesse sentido, a aplicação superficial e incorporada de calcário na área de LE foi eficiente em aumentar os valores de pH para 6,25 e neutralizar o  $\text{Al}^{+3}$ .

A acidez potencial se refere ao hidrogênio e o alumínio que se encontram na forma não dissociável, e fase sólida do solo. A área FL apresentou maior valor de acidez potencial, que pode estar relacionado às características dos Latossolos, que apresentam altos níveis de acidez e maiores teores de MOS. Solos com maiores teores de matéria orgânica e alumínio são mais ácidos, pois esses atributos constituem as fontes potenciais de acidez e conferem maior poder tampão à mudança de pH (VELOSO et al., 2007).

Assim, a matéria orgânica do solo (MOS) constitui o maior reservatório de carbono (C) do solo, proveniente da soma de todas as substâncias orgânicas, dos vegetais, animais e dos resíduos produzidos e decompostos por ambos. Nesse sentido, a MOS se concentra nas camadas superficiais do solo e está relacionada com a entrada e saída do estoque de carbono (CUNHA; MENDES; GIONGO, 2015; NANZER, 2019). O interesse nos efeitos do manejo do solo sobre os estoques de matéria orgânica é crescente, devido ao aumento do armazenamento de C orgânico em solos agrícolas contribuindo para minimizar as mudanças climáticas (SERPA et al., 2020).

Bem como, a importância das árvores na formação da serrapilheira que foi comprovada por Freitas et al. (2013) ao comparar sistemas agrossilvipastoris, com a presença de eucalipto e acácia, com monocultivo de pastagem. Os sistemas com componentes arbóreos apresentaram maior deposição de serrapilheira total, pois, além da serrapilheira da forrageira, houve o incremento do material resultante da senescência das árvores.

Na FL há maior deposição de serrapilheira, devido a presença do componente arbóreo, o seu acúmulo promove a ciclagem de nutrientes em consequência uma maior concentração de estoque de carbono orgânico (ECO) em superfície. Os resultados de serrapilheira corroboram com os resultados de MOS encontrados e a maior concentração de serrapilheira (t/ha) e MOS ( $\text{g dm}^{-3}$ ) foram na camada mais superficial da área FL, que apresentaram 11,35 t/ha e 36,98  $\text{g dm}^{-3}$ , respectivamente, enquanto em LE esse valor foi de 3,77 e 23,52  $\text{g dm}^{-3}$ .

A intensidade dos processos de decomposição de resíduos da MOS influencia a dinâmica do estoque de C no solo. Em ambientes naturais, o ECO encontra-se em equilíbrio, porém sua decomposição pode ser afetada pelo clima, temperaturas elevadas, altos índices pluviométricos e maior atividade da microbiota causam rápida decomposição dos materiais orgânicos incorporados e presentes no solo (ALMEIDA; SANCHES, 2014; OZÓRIO et al., 2020).

A qualidade do solo é avaliada pela interação dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo e o teor de matéria orgânica é um dos principais indicadores para se fazer esta avaliação. A interação da MOS com diversos componentes do solo está diretamente relacionada com a formação e a estabilidade dos agregados e, conseqüentemente, com a retenção de água, densidade do solo, entre outros (CUNHA et al., 2015).

Apesar dos resultados do teor de matéria orgânica (MO) mostrarem maior concentração na área de FL, não houve diferença significativa nos resultados de densidade entre os dois tratamentos. A presença de piçarra nas duas áreas pode ser a explicação para esta similaridade.

A piçarra é uma mistura de rocha semidecomposta, combinando material argiloso com fragmentos que variam entre areia, pedregulho e cascalho (WINGE et al., 2001). A formação de piçarra na área da fazenda onde a pesquisa foi conduzida ocorre devido aos fatores de formação do solo.

Segundo Reinerte et al. (2006), o crescimento radicular das plantas pode ser limitado quando a densidade do solo atinge valores críticos. Para solos arenosos, este valor se inicia a partir de 1,65  $\text{kg dm}^{-3}$  e para solos argilosos é de 1,45  $\text{kg dm}^{-3}$ . Tanto na área de LE (2,01  $\text{g cm}^3$ ), quanto na de FL, (1,92  $\text{g cm}^3$ ), os valores de Ds estão acima do limite crítico, indicando

possível limitação no crescimento das raízes e, por consequência, prejuízos na absorção de água e nutrientes necessários para o desenvolvendo do vegetal.

O valor médio da densidade em LE, além da presença de piçarra, também é explicado pelas práticas de manejo inadequadas em solos cultivados. Moreira et al. (2005), argumenta que o pisoteio de animais concentrado em algumas partes da área, ocasionando o excesso de carga animal, e a redução de matéria orgânica, são as principais causas de altos valores de densidade do solo. A redução de matéria orgânica em LE ocorreu devido a operações mecanizadas realizadas para a implantação do cultivo de monoculturas, o que acelera a oxidação da matéria orgânica e, principalmente, pela retirada do componente arbóreo.

A compactação está relacionada de forma direta com a resistência física que o solo exerce sobre o crescimento do sistema radicular vegetal (LABEGALINE et al., 2016). De acordo com Girardello et al. (2014), o valor crítico de resistência à penetração do solo é de 3,0 MPa. No entanto, há autores que indicam a limitação do crescimento das raízes a partir de 2,0 MPa (TAYLOR et al., 1966; TARDIEU et al., 1994; TORMENA et al., 1998; DALCHIAVON et al., 2011).

Considerando o limite crítico estabelecido por Girardello et al. (2014), em nenhuma das profundidades há prejuízo ao bom desenvolvimento das raízes, limitação na absorção de água e nutrientes e nem na aeração solo. Se o limite crítico considerado for o de 2,0 MPa, somente LE, na profundidade de 24 – 30 cm, atinge este valor. Estes resultados não estão em consonância com os resultados de Ds, pois, a densidade atingiu os valores críticos, e quanto maior a densidade, mais compactado está o solo e, conseqüentemente, maior será a resistência mecânica do solo à penetração.

## 7 CONCLUSÃO

O solo da área de floresta natural apresentou valores maiores de matéria orgânica e de estoque de carbono na profundidade de 0-5 cm, conservando esses atributos do solo de forma mais eficiente, quando em comparação com a área de lavoura extensiva com histórico de pastagem. O uso do solo para lavoura extensiva apresentou os menores valores para os indicadores da acidez do solo, devido a calagem.

A resistência do solo à penetração para área de LE foi maior do que na FL nas camadas mais profundas do solo, indicando que a intervenção antrópica ao longo do tempo afeta esse atributo físico. A densidade e a umidade de LE e FL mostraram valores similares e é possível que a formação de piçarra no solo das áreas amostradas tenha interferido nos resultados. Mascarando a influência do manejo do solo.

## REFERÊNCIAS

- ALOVISI, A. A. et al. Atributos de fertilidade dos solos sob vegetação nativa do bioma cerrado. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 7, p. 38-52, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.007.0004>.
- ARAUJO, L. S. et al. **Conservação da biodiversidade do Estado do Maranhão: cenário Atual em dados geoespaciais**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 13 p, 2016.
- BATISTA, M. A. et al. Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral. BRANDÃO-FILHO, JUT; FREITAS, PSL; BERIAN, LOS; GOTO, R. **Hortaliças-fruto**. Maringá: EDUEM, p. 113-161, 2018.
- BARROS, P.H.B.; STEGE, A.L. Deforestation and human development in the Brazilian Agricultural frontier: an environmental kuznets curve for Matopiba. **Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos**, v. 13, n. 2, p. 161-182, 2019.
- BERTOLLO, Altamir Mateus; LEVIEN, Renato. Compactação do solo em Sistema de Plantio Direto na palha. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 25, n. 3, p. 208-218, 2019.
- BUAINAIN, A. M.; GARCIA, J. R.; VIEIRA FILHO, J. E. R. **Dinâmica da economia e da agropecuaria no Matopiba**. Texto para discussão, 2017.
- CAMPOS, S. K. et al. **Dinâmica agrícola no cerrado: análises e projeções**. Brasília, DF: Embrapa, p 1-308. 2020.
- CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **PIB do agronegócio brasileiro janeiro a março de 2022**. Disponível em: < <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx> > Acesso em: 20 de set de 2022.
- CUNHA, T. J. F.; MENDES, A. M. S.; GIONGO, V. Matéria orgânica do solo. In: NUNES, R. R.; REZENDE, M. O. O. (Org.). **Recurso solo: propriedades e usos**. São Carlos: Cubo. cap. 9, p. 273-293, 2015.
- DALCHIAVON, F. C.; DE PASSOS, M.; NOGUEIRA, D. C.; ROMANO, D.; ABRANTES, F. L.; DE ASSIS, J. T.; OLIVEIRA, M. S. Produtividade da soja e resistência mecânica à penetração do solo sob sistema plantio direto no Cerrado brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, p. 8-19, 2011.
- DIAS, L. J. B. S; CATUNDA, P. H. A. **Zonificação do Território do Zoneamento Ecológico Econômico do Maranhão (ZEEMA) – etapa Bioma Cerrado e Sistema Costeiro**. São Luís-MA: IMESC, 2021.
- EMPRABA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Biomass do Brasil**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/contando-ciencia/bioma-cerrado>> Acesso em: 15 set. 2022.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Dinâmica agrícola no cerrado: análises e projeções / Édson Luis Bolfe, Edson Eyji Sano, Silvia Kanadani Campos, editores técnicos**. – Brasília, DF. 2020.

FREITAS, L. et al. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Unimar Ciências**, v. 26, n. 1-2, 2017.

FREITAS, E. C. S., et al. Deposição de Serapilheira e de nutrientes no solo em sistema agrossilvipastoril com eucalipto e acácia. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 409-417, 2013.

GIRARDELLO, V. C. et al. Resistência à penetração, eficiência de escarificadores mecânicos e produtividade da soja em Latossolo argiloso manejado sob plantio direto de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1234-1244, 2014.

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

LABEGALINI, N. S., et al. Desenvolvimento da cultura do milho sob efeitos de diferentes profundidades de compactação do solo. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 3, n. 4, p. 7-11, 2016.

LABGEO, Laboratório de Geoprocessamento - UEMA. **Atlas do Maranhão/Gerência de Planejamento e Desenvolvimento Econômico**. 2 ed. ed. São Luís, MA: GEPLAN, 2002.

LACERDA, D. M. A. et al. **Padrões fenológicos e atributos reprodutivos de espécies lenhosas no cerrado do Estado do Maranhão**, Brasil. 2017.

MANDUJANO, R. M. **Disputas territoriais entre o agroextrativismo do pequi e o agronegócio na substituição do Cerrado por monocultivos agroindustriais**: estudo das microrregiões de Porto Franco-MA e Jalapão-TO. Diss. Doutorado. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Instituto de Geociências, 2018.

MIRANDA, E. E.; MAGALHÃES, L. A.; CARVALHO, C. A de. **Proposta de delimitação territorial do MATOPIBA**. Nota técnica nº 1. Campinas: Embrapa Territorial, 2014. 18 p.

MOREIRA, J. A. A., et al. Atributos químicos e físicos de um LATOSSOLO VERMELHO distrófico sob pastagens recuperada e degradada. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 35, n. 3, p. 155-161, set./dez. 2005.

MOREIRA, J. W; FREITAS RODRIGUES, Y. S. Acúmulo de biomassa de serapilheira em área de restauração florestal do Cerrado. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 19, n. 1, p. 46-50, 2021.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Análises no Cerrado**. Balanço do PPCDAM e do PPCERRADO, 2019 Disponível em: <<http://combateadesmatamento.mma.gov.br/analises-no-cerrado>>. Acesso em: 10 set.2022.

OLIVEIRA SILVA, M. et al. Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 6853-6875, 2021.

OLIVEIRA SILVA, M. et al. Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 47838-47855, 2020.



PEREIRA, G. E. dos S. **Implicações da retirada da vegetação original e sua substituição por diferentes tipos de cobertura vegetal sobre aspectos físicos e de fertilidade do solo na região de Ariquemes, RO.** 2017.

PROCÓPIO, L.; BARRETO, C. The soil microbiomes of the Brazilian Cerrado. **Journal of Soils and Sediments**, v. 21, n. 6, p. 2327-2342, 2021.

RAMOS, A. M. R. et al. Atributos físicos do solo em sistema consorciado e monocultivo do maracujá (*Passiflora edulis* Sims). **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 13, n. 1, p. 80-87, 2019.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo: Protótipos e teste. **Ciência Rural**, v. 36, n. 6, p. 1931-1935, 2006.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais.** (2ª. ed.): Embrapa territorial. 2020.

ROQUETTE, J. G. Distribuição da biomassa no cerrado e a sua importância na armazenagem do carbono. **Ciência Florestal**, v. 28, p. 1350-1363, 2018.

RUDORFF, B.; RISSO, J. **Análise Geoespacial da Dinâmica das Culturas Anuais no Bioma Cerrado: 2000 a 2014.** Florianópolis, Agrosatélite Geotecnologia Aplicada, 2015.

SANTANA, C. A. M.; et al. **Cerrado: pilar da agricultura brasileira.** In: BOLFE, E. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, S. K. (eds). *Dinâmica agrícola no cerrado: análises e projeções.* Embrapa: Brasília, p. 21-38. 2020.

SANTOS, H. G dos et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** EMBRAPA. 5.ed. 358p. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 2018.

SANTOS JÚNIOR, A. B. et al. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo sob diferentes usos agrícolas no ecótono Cerrado-Amazônia. **Agri-Environmental Sciences**, v. 7, n. 1, p. 16-16, 2021.

SERPA, K. M. et al. Atributos físicos e teor de matéria orgânica em área de Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 3, p. e131932399-e131932399, 2020.

SILVA, A. L. et al. Políticas ambientais seletivas e expansão da fronteira agrícola no cerrado: impactos sobre as comunidades locais numa unidade de conservação no Oeste da Bahia. **Revista Nera**, n. 47, p. 321-347, 2019.

SILVA, H. et al. Atributos físicos do solo e escoamento superficial como indicadores de serviços ambientais. In: Parron, L. M. et al. *Serviços ambientais em sistemas agrícola e florestais do Bioma Mata Atlântica.* Brasília, DF. Embrapa, p. 71-83. 2015.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, p. 229-235, 1991.

TARDIEU, F. Growth and functioning of roots and of root systems subjected to soil compaction. Towards a system with multiple signaling. **Soil Tillage. Res.**, v. 30, p. 217-243, 1994.

TAYLOR, H.M.; ROBERSON, G.M.; PARKER JÚNIOR, J.J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. **Soil Science**, v. 102, p. 1822, 1966.

TEIXEIRA, P. C.; et al. **Manual de métodos de análise de solo**. 3ª ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um LATOSSOLO ROXO sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 573-581, 1998.

VELOSO, C. A. C. et al. Correção da acidez do solo. CRAVO, MS; VIÉGAS, IJM; BRASIL, EC **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, p. 93-103, 2007.

WINGE, M. et al. Piçarra. **Glossário Geológico**. 2001. Disponível em: <<http://sigep.cprm.gov.br/glossario/verbete/picarra>>. Acesso em: 08 nov. 2022.