



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DO  
MARANHÃO



PPGAA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E AMBIENTE

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO – UEMA  
CENTRO DE ESTUDOS SUPERIORES DE BALSAS - CESBA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E AMBIENTE**

**KIRA FIGUEREDO ALVES**

**ALTERAÇÕES ANTRÓPICAS NOS ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E  
BIOLÓGICOS DO SOLO SOB DIFERENTES MANEJOS NO CERRADO  
MARANHENSE**

Balsas - MA  
2022

**KIRA FIGUEREDO ALVES**

**ALTERAÇÕES ANTRÓPICAS NOS ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E  
BIOLÓGICOS DO SOLO SOB DIFERENTES MANEJOS NO CERRADO  
MARANHENSE**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente - PPGAA/CESBA/UEMA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agricultura e Ambiente.  
Orientador (a): Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Alinne da Silva

Balsas - MA  
2022

Alves, Kira Figueredo.

Alterações antrópicas nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo sob diferentes manejos no cerrado maranhense / Kira Figueredo Alves. – Balsas, MA, 2022.

67 f

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente, Centro de Estudos Superiores de Balsas, Universidade Estadual do Maranhão, 2022.

Orientadora: Profa. Dra. Alinne da Silva.

1.Indicadores da fertilidade do solo. 2.Densidade do solo. 3.Matéria orgânica do solo. 4.Macrofauna edáfica. I.Título.

CDU: 631.41/.43:504.61(812.1)

**Elaborado por Giselle Frazão Tavares - CRB 13/665**

**KIRA FIGUEREDO ALVES**

**ALTERAÇÕES ANTRÓPICAS NOS ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO SOB DIFERENTES MANEJOS NO CERRADO MARANHENSE**

Dissertação elaborada de acordo com as normas do modelo de artigo da Revista Brasileira de Ciência do Solo – RBCS (<https://www.rbcjournal.org/pt-br/instrucoes-aos-autores/>), Versão on-line ISSN: 1806-9657 de Qualis A2, incluso nas classificações de periódicos: quadriênio 2013-2016.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente – PPGAA/CESBA/UEMA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agricultura e Ambiente.  
Orientador (a): Prof<sup>ª</sup>. Dr.<sup>ª</sup> Alinne da Silva

Aprovada em 28/01/2022

**BANCA EXAMINADORA**



---

Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Alinne da Silva  
(Orientadora)



---

Prof. Dr. Jorge Diniz de Oliveira  
Doutor em Química

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL

Marcos Antonio  
Camacho da Silva

Assinado de forma digital por  
Marcos Antonio Camacho da Silva  
Dados: 2022.01.31 16:55:26 -04'00'

---

Prof. Dr. Marcos Antônio Camacho  
Doutor em Produção Vegetal  
Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul - UEMS

*Àqueles que por me amarem, me ensinaram o amor ao conhecimento.*

**DEDICO**

*“Os sãos não precisam de médico, mas sim os que estão doentes. Eu não vim chamar os que se consideram justos, mas sim os que se reconhecem falhos.”*

*Jesus*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus na pessoa de Jesus, por ter feito a Natureza à Sua semelhança: ávida pela transformação, amante da diversidade e em um processo contínuo de evolução. Geradora da vida, contínua e insaciável. Agradeço por participar com os humanos um pouco da Sua graça, nos permitindo à liberdade.

Aos meus pais que toleraram minhas ausências e abriram mão de que eu comparecesse aos negócios da família. Por terem se dedicado em me ensinar a ler, a estudar, a trabalhar e a não desrespeitar os meus limites. E, principalmente, por cobrarem todos os dias que eu decidisse sobre minha vida e me posicionasse na busca da autonomia como ser senciente.

À minha orientadora, que em nenhum momento dos últimos 7 anos desistiu de mim. Agradeço por ter me deixado quebrar a cabeça com os sistemas e as análises estatísticas, por ter exigido resposta em detrimento das expectativas que me direcionaram, por me colocar em contato com pessoas que abraçaram minhas perguntas e auxiliaram quanto às respostas. Agradeço por ser louca, extremamente autêntica, aberta ao diálogo e acessível. A Alinne mudou minha história dentro e fora da academia.

Aos meus irmãos por serem gentis, livres e espontâneos. Por infernizarem minha vida e me encherem de amor.

Ao Ruan, pai do meu filho e meu companheiro, por me colocar para cima nos dias depressivos, segurar minha mão nas noites de dor, não me julgar durante crises autodepreciativas, potencializar os momentos de felicidade e me ajudar a encontrar meu caminho como mulher e humana.

À professora Michela Costa Batista, ao professor Luiz Fernandes Silva Dionisio e ao professor Sérgio Turibus pela disposição, atenção e paciência para sanarem minhas dúvidas – que foram muitas.

À Jayne Sousa Antunes, João Pedro Sudré Moraes e Tosta, Raphaela de Paula Silva do Nascimento, Leonel Costa de Sousa Junior, ao Ricardo Brasil da Costa e ao Gabriel Rêgo da Silva, por terem rasgado suas botas durante as coletas, por terem visto sangue nos calos das mãos e dos pés, por colocarem musica no campo, pelo bom humor, pela parceria, pela disposição e por não se importarem de eu quase os matar estando no volante indo e voltando da fazenda. Esse trabalho aconteceu porque os Macacos de Marreta fizeram acontecer.

À UEMA pela oportunidade gigantesca.

À FAPEMA por financiar o início do meu sonho.

## RESUMO

O Cerrado configura-se como a última fronteira agrícola do Brasil e tem sua biodiversidade ameaçada. O objetivo desse projeto de dissertação foi avaliar os impactos das alterações antrópicas em alguns atributos físicos, químicos e biológicos do solo sob diferentes manejos no Cerrado Maranhense. O estudo foi conduzido em uma Fazenda localizada no município de Porto Franco, na região Oeste do Estado do Maranhão, inserida no bioma Cerrado Maranhense, região Nordeste do Brasil. As áreas experimentais foram selecionadas a partir dos dois principais usos da terra na região: pastagem abandonada (PA) e pastagem extensiva com histórico de agricultura (PE), além de uma área de referência de floresta nativa do bioma Cerrado (FL). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com três áreas (PA, PE e FL) e cinco repetições para os atributos biológicos e físicos e quatro repetições para os atributos químicos do solo. As médias dos atributos físicos e químicos foram submetidos à análise fatorial, a diferença entre as médias foi analisada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para os atributos químicos, foi aplicada análise de componentes principais. Os resultados de macrofauna edáfica foram submetidos ao modelo linear generalizado e ao teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os resultados apontaram que o uso do solo com pastagem, seja PA ou PE, apresentaram os maiores valores para os indicadores da fertilidade do solo, devido à calagem, fertilização e deposição de resíduos orgânicos, animais e vegetais na superfície. Nestes usos do solo, a presença de gramíneas tropicais perenes proporcionou aporte de matéria orgânica e aumento dos estoques de carbono no solo, igualando-se, e no caso da área de pastagem abandonada superando os observados na área de FL do bioma Cerrado Maranhense. Porém, a conversão da vegetação nativa em pastagem diminuiu a riqueza de ordens de macrofauna edáfica. Os aportes de matéria orgânica pela biomassa subterrânea e aérea das gramíneas, em adição a ausência de mecanização e restauração natural da vegetação, refletiram no aumento da porosidade e redução da densidade do solo na área de PA. Na área de PE, a matéria orgânica oxidada pelo uso intensivo de mecanização e as práticas de queima foi recuperada pela rebrota do remanescente de gramíneas e os resíduos da cultura da soja, pois os resultados apontaram semelhança com a área de referência. Portanto, a conversão da floresta em pastagens alterou os atributos do solo, e o aporte de matéria orgânica pelas gramíneas foi o principal fator de influência na restauração do solo nas áreas antropizadas.

**Palavras-chave:** Indicadores da fertilidade do solo; Densidade do Solo; Matéria orgânica do solo; Macrofauna edáfica.

## ABSTRACT

The Cerrado is the last agricultural frontier in Brazil and its biodiversity is threatened. The objective of this project was to evaluate the impacts of anthropic changes on the physical, chemical and biological attributes of the soil under different managements in the Cerrado of *Maranhão*. The study was conducted on a farm located in the municipality of Porto Franco, in the western region of the State of Maranhão, located in the *Cerrado* biome, Northeast region of Brazil. The experimental areas were selected from the two main land uses in the region: abandoned pasture (PA) and extensive pasture with a history of agriculture (PE), in addition, a reference area of native forest of the Cerrado biome (FL). The experimental design was completely randomized, with three areas (PA, PE and FL) and five replications for biological and physical attributes and four replications for soil chemical attributes. The averages of physical and chemical attributes were submitted to factor analysis, the difference between the averages was analyzed by Tukey's test at 5% probability. For chemical attributes, principal component analysis was applied. The edaphic macrofauna results were submitted to the generalized linear model and Tukey test at 5% probability. The results showed that the use of land with pasture, whether PA or PE, presented the highest values for soil fertility indicators, due to liming, fertilization and deposition of organic, animal and plant residues on the surface. In these land uses, the presence of perennial tropical grasses provided an input of organic matter and an increase in carbon stocks in the soil, equaling, and in the case of the PA area exceeding those observed in the FL. However, the conversion of native vegetation to pasture reduced the richness of orders of edaphic macrofauna. The contributions of organic matter by the underground and aerial biomass of the grasses, in addition to the absence of mechanization and natural restoration of the vegetation, reflected in the increase of porosity and reduction of the density of the soil in the PA. In the PE, the organic matter oxidized by the intensive use of mechanization and the burning practices was recovered by the regrowth of the remaining grasses and residues from soybean cultivation, as the results showed similarity with the reference area. Therefore, the conversion of the forest into pastures altered the attributes of the soil, and the organic matter was the main factor that influenced the restoration of the soil in the anthropized areas.

**Keywords:** Soil fertility indicators; Soil density; Soil organic matter; Edaphic macrofauna.

## LISTA DE SIGLAS

MATOPIBA – Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia;  
PA – Pastagem Abandonada;  
PE – Pastagem Extensiva;  
FL – Floresta;  
GPS - *Global Positioning System*;  
DS – Densidade do solo;  
PR – Porosidade total;  
UMM – Umidade com base em massa;  
UMV – Umidade com base em volume;  
Vib – Velocidade básica de infiltração;  
ECO – Estoque de carbono orgânico;  
UEMASUL – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão;  
MS – Massa seca;  
MF – Massa fresca;  
Vt – volume total do anel;  
DP – Densidade de partícula;  
ma – Massa de água;  
M – Massa que provoca o impacto;  
A – área de base do cone;  
g – Gravidade;  
m – Massa dos demais componentes do penetrômetro, excluída a do impacto;  
h – Altura da queda de massa que provoca o impacto;  
x – Penetração unitária ocasionada por um impacto;  
K – Potássio;  
Ca – Cálcio;  
Mg – Magnésio;  
P – Fósforo;  
pH – Potencial hidrogeniônico;  
SB – Soma de Bases;  
MO – Matéria orgânica;  
t – Capacidade de trocas catiônicas efetiva;

T - Capacidade de trocas catiônicas a pH 7;

V – Saturação por bases;

m – Saturação por alumínio;

PCA - *Principal Component Analysis*;

PC - *Principal Component*;

TSBF - *Tropical Soil Biology and Fertility*;

Cs - Teor de carbono orgânico total na profundidade amostrada;

Ds - densidade aparente do solo na profundidade amostrada;

Dref - densidade do solo para a profundidade amostrada na área de referência;

e - Espessura da camada considerada.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Localização da área experimental, no município de Porto Franco, região Oeste do estado do Maranhão. Imagens das áreas de pastagem abandonada (PA), pastagem extensiva (PE) e Floresta (FL)..... 40
- Figura 2.** Análise de Componentes Principais (ACP) dos atributos químicos matéria orgânica (MO), potencial hidrogeniônico (pH), fósforo disponível (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al) trocáveis, acidez potencial (H+Al), saturação por alumínio (m), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions efetiva (t), capacidade de troca de cátions a pH 7 (T), saturação por bases (V) e estoque de carbono orgânico (ECO) em amostras de solo coletadas em área de pastagem abandonada (PA), pastagem extensiva (PE) e floresta (FL) nas profundidades entre 0-5 cm (A), 5-10 cm (B), 10-20 cm (C) e 20-30 cm (D)..... 45
- Figura 3.** Riqueza de ordens da macrofauna edáfica identificada em amostras de solo coletado na profundidade entre 0-20 cm, em áreas de pastagem abandonada (PA), pastagem extensiva (PE) e floresta (FL). ..... 51

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Valores médios de acidez potencial (H+Al) e potencial hidrogeniônico (pH) em amostras de solo coletadas em área de pastagem abandonada (PA), pastagem extensiva (PE) e floresta (FL) nas profundidades entre 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm. 45
- Tabela 2.** Valores médios de alumínio trocável (Al) e saturação por alumínio (m) em amostras de solo coletadas em área de pastagem abandonada (PA), pastagem extensiva (PE) e floresta (FL) nas profundidades entre 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm. 46
- Tabela 3.** Valores médios de teor de matéria orgânica (MO) e fósforo disponível (P) em amostras de solo coletadas em área de pastagem abandonada (PA), pastagem extensiva (PE) e floresta (FL), nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm. 47
- Tabela 4.** Valores médios de estoque de carbono orgânico no solo (ECO) em amostras de solo coletadas em área de pastagem abandonada (PA), pastagem extensiva (PE) e floresta (FL), nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm. 47
- Tabela 5.** Valores médios de potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) trocáveis, soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions efetiva (t), capacidade de troca de cátions a pH 7 (T) e saturação por bases (V) em amostras de solo coletadas em área de pastagem abandonada (PA), pastagem extensiva (PE) e floresta (FL), nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm. 48
- Tabela 6.** Valores médios de porosidade total (PR), densidade do solo (DS), umidade com base em volume (UMV) e umidade com base em massa (UMM) em amostras de solo coletadas em área de pastagem abandonada (PA), pastagem extensiva (PE) e floresta (FL), nas profundidades de 0-5, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm. 48
- Tabela 7.** Valores médios de velocidade básica de infiltração (Vib) em áreas de pastagem abandonada (PA), pastagem extensiva (PE) e floresta (FL). 49
- Tabela 8.** Valores médios de massa fresca (MF) e massa seca (MS) de serapilheira em pastagem abandonada (PA), pastagem extensiva (PE) e floresta (FL), amostradas em cinco pontos por uso de solo. 49
- Tabela 9.** Densidade, frequência e constância de ordens de macrofauna edáfica identificadas em amostras de solo coletadas na profundidade entre 0-20 cm, em áreas de pastagem abandonada (PA), pastagem extensiva (PE) e floresta (FL). 50

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 Objetivo Geral .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2 Objetivos Específicos.....</b>	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO 1 - REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>18</b>
<b>1 BIOMA CERRADO .....</b>	<b>18</b>
<b>2 USOS DO SOLO NO CERRADO .....</b>	<b>19</b>
<b>3 ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO.....</b>	<b>20</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>23</b>
<b>CAPÍTULO 2 - IMPACTOS CAUSADOS POR ALTERAÇÕES ANTRÓPICAS EM ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DE SOLO SOB DIFERENTES MANEJOS NO CERRADO MARANHENSE.....</b>	<b>37</b>
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>38</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>39</b>
<b>Caracterização da área experimental .....</b>	<b>39</b>
<b>Variáveis analisadas .....</b>	<b>42</b>
<b>Análises estatísticas .....</b>	<b>44</b>
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>44</b>
<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>51</b>
<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>59</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>59</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, ocupa uma área de 2.039.243 km<sup>2</sup>, cerca de 24% do território nacional ((IBGE, 2018; ALENCAR et al., 2020). O Cerrado é considerado a última fronteira agrícola do planeta, fonte primária para expansão da agricultura nos trópicos e a vegetação nativa substituída por plantios comerciais (GIBBS et al., 2010). Cerca de 60 milhões de hectares, que representam 29,46% do bioma, são atualmente cultivados com pastagem, enquanto 8,54% (17,4 milhões) são cultivados com culturas anuais, predominantemente soja, milho e algodão (GASQUES et al., 2020).

O Estado do Maranhão é composto por três biomas, 64,1% do território no bioma Cerrado, 34,8% no bioma Amazônia e 1,1% na Caatinga (SPINELLI-ARAÚJO et al., 2016). No Cerrado Maranhense, 46% da área apresenta pecuária associada ao extrativismo como atividade principal e 2,46% da área é cultivada com grãos (IBGE, 2018; PITTA e VEGA, 2017). Esses dados ilustram a afirmação de que as alterações no uso do solo são reguladas pela economia, no sentido de que opções economicamente mais rentáveis podem substituir as ocupações atuais, incluindo ecossistemas naturais (BARRETTO et al., 2013).

A conversão da vegetação nativa em cultivos de pastagem para pecuária extensiva, somada a práticas inadequadas de manejo do solo, promove alterações na regulação climática regional, estabilidade hidrológica e ciclos biogeoquímicos (DIAS et al., 2015; FERREIRA; FILHO; FERREIRA, 2010; NETO et al., 2018). A degradação das pastagens é caracterizada pelas perdas de produtividade, potencializada no Cerrado em função das condições edáficas naturais (ROCHA et al., 2016; PORTO et al., 2020). Diante das dimensões do território brasileiro e das diferenças regionais do Cerrado, há dificuldade em localizar estas pastagens e definir em quais níveis estão subutilizadas e comprometidas pela degradação.

A observação direta dos atributos do solo é considerada por muitos pesquisadores a forma adequada de mensurar e monitorar a sua conservação ou qualquer processo de degradação em curso (ANDREWS; KARLEN; CAMBARDELLA, 2004; STEFANOSKI et al., 2013). Os atributos do solo permitem caracterizar, avaliar e acompanhar as alterações ocorridas num determinado ecossistema (KARLEN et al., 1997; KARLEN; DITZLER; ANDREWS, 2003). Os atributos são classificados em físicos, químicos, biológicos e orgânicos, e a interação entre eles é um estado funcional complexo que torna necessário a definição das funções do solo relacionadas a cada atributo (CAVALCANTE et al., 2021).

Os principais atributos físicos, químicos e biológicos são textura, espessura (horizonte A; *solum*), densidade do solo, resistência mecânica do solo à penetração, porosidade, capacidade de retenção de água, condutividade hidráulica e estabilidade de agregados (ERKOSSA; ITANNA; STAHR, 2007); teor de matéria orgânica do solo, carbono orgânico do solo, acidez do solo, conteúdo de nutrientes, elementos fitotóxicos e determinadas relações como a saturação de bases e de alumínio, biomassa microbiana do solo, nitrogênio mineralizável, respiração microbiana do solo, atividade enzimática e quociente metabólico (FRIGHETTO et al., 2000).

O município de Porto Franco, localizado na região Sudoeste do Estado do Maranhão, encontra-se inserido bioma Cerrado. Nas últimas décadas, essa região sofreu mudanças drásticas em sua vegetação nativa, como consequência da sua incorporação ao processo produtivo. Tais mudanças têm causado impactos negativos do ponto de vista ambiental, em função da substituição de vegetações nativas pelo estabelecimento de pastagem e grãos (ANACHE, 2017).

Nesse sentido, o objetivo deste projeto foi avaliar os impactos das alterações antrópicas nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo sob diferentes manejos no Cerrado Maranhense, e gerar conhecimento para auxiliar na conservação deste bioma. Este objetivo foi baseado na hipótese que, a conversão da vegetação nativa em pastagem extensiva promoveu a diminuição da diversidade da macrofauna edáfica, estoques de carbono orgânico, teores de nutrientes e aumento da densidade do solo, e quando a pastagem foi abandonada, o solo tendeu a restabelecer as condições parecidas à vegetação nativa.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar o impacto da mudança do uso do solo nos atributos químicos, físicos e biológicos e gerar conhecimento para auxiliar na conservação do Cerrado Maranhense.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Para que o objetivo geral seja alcançado foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar a densidade do solo, umidade, porosidade, taxa de infiltração de água no solo em área com vegetação nativa não antropizada, e comparar com áreas com pastagem extensiva com histórico de agricultura e pastagem extensiva abandonada;
- Avaliar os valores de pH, teores de fósforo disponível, potássio, cálcio, magnésio e alumínio trocável, acidez potencial e matéria orgânica e estoques de carbono orgânico do solo em área com vegetação nativa não antropizada, e comparar com áreas com pastagem extensiva com histórico de agricultura e pastagem extensiva abandonada;
- Avaliar a macrofauna edáfica em área com vegetação nativa não antropizada, e comparar com áreas com pastagem extensiva com histórico de agricultura e pastagem extensiva abandonada.

## **CAPÍTULO 1 - REFERENCIAL TEÓRICO**

### **1 BIOMA CERRADO**

As Savanas estão situadas em regiões tropicais e subtropicais, cobrindo cerca de 20% da superfície da Terra (PENNINGTON; LEHMANN; ROWLAND, 2018; SCHOLES; ARCHER, 1997). Elas estão presentes na Ásia, Austrália, África e América do Sul, esta última uma das mais ricas em biodiversidade do planeta (MÜLLER et al., 2015). A Savana Brasileira, conhecida como Cerrado, compreende uma flora diversa, distribuída em diferentes tipos de vegetação, desde campos e campos rupestres até matas e florestas, em decorrência das características do solo, sazonalidade climática e regimes de fogo (EITEN, 1972; BARBOSA; LAKSHMI KUMAR; SILVA, 2015)

O Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil, ocupa, aproximadamente, 2 milhões de km<sup>2</sup> em extensão territorial (ALENCAR et al., 2020; IBGE, 2018), com ocorrência no Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Tocantins, Minas Gerais, Bahia, Maranhão, Piauí, Goiás, Distrito Federal, São Paulo e Paraná (SOARES et al., 2017). As fronteiras do Cerrado, apesar de não serem bem definidas, o separam dos principais biomas de várzea: Amazônia (norte), “Chaco” e Pantanal (oeste), Caatinga (nordeste) e Mata Atlântica (leste e o sul) (AB’SÁBER, 2017; LACHER; ALHO, 2001). As zonas ecotonais dessas regiões têm uma interação complexa de espécies e comunidades singulares dessas zonas de transição (BEZERRA; CARMIGNOTTO; RODRIGUES, 2009; BUENO et al., 2018).

A classificação das três formações vegetais no Cerrado é savânica, campestre e florestal, a qual constitui um sistema macro de orientação para a separação de paisagens. As formações florestais têm a predominância de árvores altas, cujas copas se tocam formando uma única massa de folhas ou não (PAUSAS; DANTAS, 2017). As formações savânicas possuem árvores e arbustos espalhados sobre uma grande quantidade de plantas semelhantes a capins, com aspecto graminóide. As formações campestres, por sua vez, são formadas por campos sem árvores, ocorrendo apenas arvoretas, arbustos e plantas rasteiras (RIBEIRO; WALTER, 1998)

A vegetação do bioma é caracterizada como aberta ou floresta semidecidual, com habitats xerofíticos, méxicos e enclaves com regiões úmidas, caracterizada por árvores de médio porte, galhos e troncos retorcidos, raízes densas e acomodadas a uma menor pluviosidade. As plantas do Cerrado são adaptadas às condições ambientais distintas: extensos períodos de seca, outrora períodos de alta precipitação, solos de baixa fertilidade,

grande ocorrência de incêndios e alta incidência de radiação (JÚNIOR; CHAVES; SOARES, 2014; MENDES et al., 2012).

O clima dominante é tropical sazonal, apresenta precipitação pluviométrica anual média de 1.500 mm, sendo que cerca de 90% das chuvas ocorrem entre os meses de outubro e março, definindo dois períodos, o chuvoso e o de estiagem. A temperatura varia entre 22 °C e 27 °C, e a umidade relativa do ar alcança taxas entre 38 e 40% no inverno seco, enquanto no período chuvoso, a umidade é elevada, atingindo 97% (ANGELLA, 2015; MORZELLE et al., 2015). Apesar das diversas classes de solo que influenciam a vegetação, as dominantes são os Latossolos (44,1%) e os Neossolos Quartzarênicos (21,4%) (SANO et al., 2008).

No entanto, 55% da vegetação original do bioma permanece inalterada, e 45% foi convertida para outros tipos de uso da terra (ALENCAR et al., 2020). Cerca de 1% da cobertura nativa do Cerrado é alterada anualmente, e o bioma está legalmente subprotegido (7,5% em áreas protegidas) em comparação com as florestas do Brasil (STRASSBURG et al., 2017).

De acordo com o Código Florestal Brasileiro, é obrigatório conservar 80% da vegetação nativa em terras privadas no bioma Amazônia, mas apenas 20% no Cerrado (35% para a porção do Cerrado localizada na Amazônia Legal) (FILHO; COSTA, 2016). Além disso, as medidas regulatórias do governo que, juntamente com as iniciativas da cadeia de abastecimento, foram responsáveis pela redução do desmatamento na Amazônia brasileira (NEPSTAD et al., 2014; SOTERRONI et al., 2019), são historicamente ineficazes no Cerrado.

## **2 USOS DO SOLO NO CERRADO**

O aumento da demanda mundial por carnes, grãos, fibras e bioenergia tornou necessária a expansão da capacidade produtiva das terras agrícolas, inclusive daquelas consideradas de baixa fertilidade (TIRITAN et al., 2016). Os solos localizados em regiões de clima tropical são considerados como principais fronteiras agrícolas (BORLAUG; DOWSWELL, 1993), uma vez que apresentam fator ambiental favorável à atividade agropecuária. Recentemente, a consolidação do Sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta nas regiões tropicais, incluindo a integração da produção agrícola anual (milho, soja, arroz, algodão e sorgo) com a produção de carne e leite (BORGHI et al., 2013; CRUSCIOL et al., 2014), confirmou os potenciais desses solos produtivos.

As mudanças contínuas no uso e cobertura do solo adicionam complexidade à análise dos fenômenos envolvidos nos ciclos hidrológicos em todo o mundo, com muitas respostas

ambientais dependentes do tipo de bioma e de suas características. Essas mudanças podem alterar a biodiversidade de diferentes maneiras, dependendo do tipo de bioma e de sua região (GARCÍA-VEGA; NEWBOLD, 2020). Em termos hidrológicos, o impacto da conversão de floresta nativa em pastagem, no ciclo hidrológico local, diminui a taxa de infiltração e aumenta o escoamento superficial, devido à compactação do solo por pisoteio de animais, aumentando os riscos de erosão e perdas de matéria orgânica (DIONIZIO et al., 2020; RÁPALO et al., 2021).

O mapeamento detalhado do uso da terra do Cerrado, produzido pelo projeto Mapeamento de Uso e Cobertura da Terra do Cerrado (BRASIL, 2015), evidencia que a área antropizada do Cerrado, coberta com culturas agrícolas, pastagens cultivadas, silvicultura, áreas urbanas, áreas de mineração, mosaico de ocupações e solo exposto, corresponde a 45% do bioma (SCARAMUZZA et al., 2017). Pastagens plantadas, com cerca de 60 milhões de hectares, é a classe de uso da terra mais expressiva no bioma (BOLFE; SANO; CAMPOS, 2020).

As principais culturas agrícolas encontradas no Cerrado foram: a) culturas anuais de sequeiro, como soja, milho e algodão encontrados predominantemente em terrenos planos (platôs ou chapadões), solos profundos, ácidos, com baixa fertilidade e elevada concentração de alumínio; b) culturas perenes, notadamente os plantios de café irrigado e citros; e c) cana-de-açúcar, considerada como cultura semiperene. Essa forte pressão de ocupação agrícola tem causado perda de biodiversidade, fragmentação e degradação de remanescentes de vegetação natural do Cerrado (KLINK; MACHADO, 2005).

A dinâmica de uso e cobertura da terra na região indica que a extensão de áreas não antropizadas está diminuindo, e a expansão de novas áreas agrícolas dependerá do acesso a áreas que hoje possuem cobertura natural (BOLFE et al., 2016). Dessa forma, ações para elevar a produtividade das áreas já cultivadas e a recuperação de áreas degradadas, associadas ao planejamento territorial, devem ser incentivadas visando ao desenvolvimento mais sustentável da região.

### **3 ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO**

Os atributos do solo são mensuráveis e permitem avaliar alterações ocorridas no ecossistema. A avaliação destes atributos, ao longo do tempo, permite qualificar e quantificar a magnitude e a duração das alterações provocadas por diferentes sistemas de manejo no solo (SILVA, 2019). Destaca-se que os atributos físicos, químicos e biológicos do solo são modificados pelas práticas de manejo, resultando na perda de qualidade e a produtividade

agrícola e/ou descaracterização de ambientes naturais (FREITAS et al., 2017; NIERO et al., 2010)

As propriedades físicas do solo são capazes de determinar as características produtivas, a capacidade dos usos aos quais podem ser submetidos, bem como práticas adequadas a sua conservação (ORTIGARA et al., 2014; REINERT; REICHERT, 2006). Os atributos físicos apresentam relações diretas com o regime hídrico do solo, e com o fornecimento e acúmulo de recursos essenciais, como água, nutrientes e oxigênio no solo. Os indicadores físicos classificados como alteráveis e permanentes (DORAN; PARKIN, 1994) são: densidade do solo, resistência à penetração, permeabilidade, aeração, agregação, porosidade e umidade do solo, textura do solo, mineralogia, densidade de partículas e cor. Sendo as alteráveis utilizadas para controle da qualidade do solo, pois são sensíveis às variações (GOMES; FILIZOLA, 2006).

A estrutura do solo é um atributo importante quando se trata do desenvolvimento vegetal, bem como da atividade de fauna edáfica. Isso ocorre devido à influência direta nas condições de compactação do solo, taxas de infiltração, vulnerabilidade a erosão, taxas de penetração radicular, dentre outras (AGUIAR, 2008). A estrutura do solo pode ser analisada por meio dos valores de densidade do solo, estabilidade de agregados, resistência do solo à penetração, distribuição dos poros e porosidade total (CAMARGO, 2018)

Os atributos químicos, auxiliam a identificação da capacidade do solo na sustentabilidade dos biomas, por meio da ciclagem dos nutrientes. Além disso, esses parâmetros estão correlacionados ao rendimento das culturas, permitindo analisar e determinar ações de correção no solo por meio de calagem e fertilização para prover condições para produção (CARDOSO et al., 2016)

Para avaliar a capacidade de disponibilizar nutrientes, são avaliados os teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), os quais são facilmente mensuráveis e estão ligados a nutrição das culturas. A saturação por base (V%) expressa a porcentagem que os elementos Ca, Mg e K estão ocupando as cargas negativas do solo..

Os atributos biológicos são propriedades ou processos biológicos que indicam a situação deste ecossistema (CHERUBIN et al., 2015). Estes representam uma abordagem ampla para avaliar e interpretar o impacto das perturbações naturais ou antrópicas no solo (HEGER, 2012). Por se tratar da parte mais viva e mais ativa da matéria orgânica do solo, e por atuar em importantes processos bioquímicos, estudos mostram que os indicadores biológicos são mais sensíveis que os indicadores químicos e físicos para detectar, com

antecedência, alterações que ocorrem no solo em função do uso e manejo (STÖCKER et al., 2017).

Entre os atributos utilizados para avaliar a dinâmica da matéria orgânica do solo destacam-se a respiração basal, a atividade enzimática, o nitrogênio da biomassa microbiana, o carbono da biomassa microbiana e a diversidade microbiana, os quais podem funcionar como indicadores sensíveis, sendo possível sua utilização no monitoramento de prováveis modificações ambientais (ARAÚJO et al., 2012; BALOTA et al., 2014; COSTA et al., 2008; FRANZLUEBBERS, 2016; MARCHIORI JÚNIOR; JOSÉ; MELO, 2000).

A macrofauna do solo constitui importante componente da biota edáfica, devido ao impacto significativo de suas atividades nas funções do ecossistema (KAMAU et al., 2017). Os organismos da macrofauna edáfica apresentam vasta sensibilidade às mudanças ambientais, e possuem transformações mais rápidas quando comparados aos indicadores químicos e físicos (MATSUMOTO; MARQUES, 2015).

Estes organismos têm funções na ciclagem de nutrientes, na agregação do solo e controle do meio biológico (MACHADO et al., 2015), conseqüentemente, na infiltração da água e mudança de padrões de retenção (LAVELLE et al., 2014). A interação da macrofauna edáfica com os microrganismos decompositores e as plantas é capaz de modificar o solo, exercendo uma regulação nos processos de decomposição e ciclagem de nutrientes (COYLE et al., 2017; MARX et al., 2016; WU; WANG, 2019).

## REFERÊNCIAS

- AB’SÁBER, A. N. O domínio dos Cerrados: introdução ao conhecimento. **Revista do Serviço Público**, v. 40, n. 4, p. 41–55, 4 jul. 2017.
- ALENCAR, A. et al. Mapping three decades of changes in the brazilian savanna native vegetation using landsat data processed in the google earth engine platform. **Remote Sensing**, v. 12, n. 6, 1 mar. 2020.
- ALMEIDA, E. J.; LUIZÃO, F.; RODRIGUES, D. J. Produção de serrapilheira em florestas intactas e exploradas seletivamente no sul da Amazônia em função da área basal da vegetação e da densidade de plantas. **Acta Amazonica**, v. 45, n. 2, p. 157–166, 2015.
- ALVES, L. A. et al. Soil chemical properties and crop response to gypsum and limestone on a coarse-textured Ultisol under no-till in the Brazilian Pampa biome. **Geoderma Regional**, v. 25, 1 jun. 2021.
- ANACHE, J. A. A. **Alterações no ciclo hidrológico e na perda de solo devido aos diferentes usos do solo e variações climáticas em área de Cerrado**. Tese (Doutorado) - São Carlos/SP: 2017. Disponível em: <[https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-17042018-110107/publico/ANACHE\\_JAA\\_2017.pdf](https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-17042018-110107/publico/ANACHE_JAA_2017.pdf)>. Acesso em: 13 dez. 2021.
- ANDREWS, S. S.; KARLEN, D. L.; CAMBARDELLA, C. A. **The Soil Management Assessment Framework: A Quantitative Soil Quality Evaluation Method**. Segoe Rd, Madison, WI: 2004. Disponível em: <<http://curveexpert.webhop.biz/>>.
- ANGELLA, C. DE O. **Avaliação da atividade antioxidante em extratos de frutas típicas do Cerrado brasileiro**. São Carlos, SP: 2015. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/75/75135/tde-12122014-105111/publico/FlaviaCristinadeOliveiraAngella.pdf>>. Acesso em: 13 dez. 2021.
- ARAUJO, A. S. F. et al. Protist species richness and soil microbiome complexity increase towards climax vegetation in the Brazilian Cerrado. **Communications Biology**, v. 1, n. 1, p. 135, 6 dez. 2018.
- ARAUJO, E. A. et al. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 5, n. 1, p. 187–206, 30 abr. 2012.
- ARAUJO, M. A. et al. Propriedades Físicas de Um Latossolo Vermelho Distrófico Cultivado e Sob Mata Nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:337-345. 2004.
- BAKAIYANG, L. et al. Re-use in road construction of a Karal-type clay-rich soil from North Cameroon after a lime/cement mixed treatment using two different limes. **Case Studies in Construction Materials**, v. 15, 1 dez. 2021.
- BALOTA, E. L. et al. Soil microbial properties after long-term swine slurry application to conventional and no-tillage systems in Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 490, p. 397–404, 15 ago. 2014.

- BARBOSA, H. A.; LAKSHMI KUMAR, T. V.; SILVA, L. R. M. Recent trends in vegetation dynamics in the South America and their relationship to rainfall. **Natural Hazards**, v. 77, n. 2, p. 883–899, 1 jun. 2015.
- BARETTA, D.; BARETTA, C. R. D. M.; CARDOSO, E. J. B. N. Análise multivariada de atributos microbiológicos e químicos do solo em florestas com *Araucaria angustifolia*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. spe, p. 2683–2691, dez. 2008.
- BARRETTO, A. G. O. P. et al. Agricultural intensification in Brazil and its effects on land-use patterns: An analysis of the 1975-2006 period. **Global Change Biology**, v. 19, n. 6, p. 1804–1815, jun. 2013.
- BARROS, P. H. B. DE; 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 (RBERU)**, v. 13, n. 2, p. 161–182, 12 mar. 2019.
- BATALHA, M. A.; MANTOVANI, W. Reproductive Phenological Patterns Of Cerrado Plant Species At The Pé-De-Gigante Reserve (Santa Rita Do Passa Quatro, Sp, Brazil): A Comparison Between The Herbaceous And Woody Floras. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 60, n. 1, p. 129–145, 2000.
- BERNARDO, S. et al. **Manual de Irrigação**. 9 ed. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2019.
- BEZERRA, A. M. R.; CARMIGNOTTO, A. P.; RODRIGUES, F. H. G. **Small Non-Volant Mammals of an Ecotone Region between the Cerrado Hotspot and the Amazonian Rainforest, with Comments on Their Taxonomy and Distribution**. 2009. Disponível em: <<http://zoolstud.sinica.edu.tw/Journals/48.6/861.pdf>>.
- BOLFE, É. L. et al. Matopiba em crescimento agrícola - Aspectos territoriais e socioeconômicos. **Política Agrícola**, v. 4, p. 38–62, 2016.
- BOLFE, É. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, S. K. **DINÂMICA AGRÍCOLA NO CERRADO Análises e Projeções**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. v. v. 1
- BONO, J. A. M. et al. Infiltração de água no solo em um latossolo vermelho da região sudoeste dos cerrados com diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1845–1853, dez. 2012.
- BORCHERT, R.; RIVERA, G.; HAGNAUER, W. Modification of Vegetative Phenology in a Tropical Semi-deciduous Forest by Abnormal Drought and Rain1. **Biotropica**, v. 34, n. 1, p. 27–39, mar. 2002.
- BORGHI, E. et al. Sorghum grain yield, forage biomass production and revenue as affected by intercropping time. **European Journal of Agronomy**, v. 51, p. 130–139, nov. 2013.
- BORLAUG, N. E.; DOWSWELL, C. R. **Fertilizer: To Nourish Infertile Soil that Feeds a Fertile Population that Crowds a Fragile World**. Better Crops/Summer.1993.

BRAIDA, J. A. et al. Resíduos Vegetais Na Superfície E Carbono Orgânico Do Solo E Suas Relações. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p. 605–614, 2014.

BRANDÃO, V. DOS S. **Infiltração De Água Em Solos Sujeitos A Encrostamento**. Viçosa, MG: 2006.

BRASIL, M. DO M. A. **Mapeamento do Uso e Cobertura do Cerrado: Projeto TerraClass Cerrado 2013**. Brasília, DF: MMA, 2015.

BRAZIENE, Z.; PALTANAVICIUS, V.; AVIZIENYTĖ, D. The influence of fulvic acid on spring cereals and sugar beets seed germination and plant productivity. **Environmental Research**, v. 195, 1 abr. 2021.

BRUYN, L. A. L. DE. Ants as bioindicators of soil function in rural environments. In: **Invertebrate Biodiversity as Bioindicators of Sustainable Landscapes**. Elsevier, 1999. p. 425–441.

BUENO, M. L. et al. The environmental triangle of the Cerrado Domain: Ecological factors driving shifts in tree species composition between forests and savannas. **Journal of Ecology**, v. 106, n. 5, p. 2109–2120, 1 set. 2018.

BUSSINGUER, A. P. **Efeito De Diferentes Usos Do Solo No Cerrado Sobre A Composição Da Fauna Edáfica Faculdade De Tecnologia Universidade De Brasília-UnB**. Brasília, DF: 2021.

CAMARGO, F. F. **Indicadores Físicos, Químicos E Biológicos Da Qualidade Do Solo Em Sistemas Agroflorestais Agroecológicos Na Área De Preservação Ambiental Serra Da Mantiqueira, MG**. Lavras, MG: 2018.

CARDOSO, E. J. B. N. et al. Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health. **Scientia Agricola**, v. 70, n. 4, p. 274–289, 8 jul. 2016.

CARNEIRO, M. A. C. et al. Atributos Físicos, Químicos E Biológicos De Solo De Cerrado Sob Diferentes Sistemas De Uso E Manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 147–157, 2009.

CARON, V. C.; GRAÇAS, J. P.; CASTRO, P. R. DE C. **Condicionadores do solo: ácidos húmicos e fúlvicos**. Piracicaba, SP: ESALQ: Divisão de Biblioteca, 2015. v. v. 58

CASTRO, É. P. DE. **Anatomia Foliar E Biomassa De Espécies De Gramíneas Do Cerrado Uberlândia**. Uberlândia, MG: 2021.

CAVALCANTE, D. M. et al. Physical soil quality indicators for environmental assessment and agricultural potential of Oxisols under different land uses in the Araripe Plateau, Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 209, 1 maio 2021.

- CHERUBIN, M. R. et al. Physical, chemical, and biological quality in an oxisol under different tillage and fertilizer sources. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 39, n. 2, p. 615–625, 1 jan. 2015.
- CHICAHUALA, M. S.; STEINAKER, D. F.; DEMARIA, M. R. Phenological responses of C3 and C4 grasses to annual changes in precipitation and temperature. **Ecologia Austral**, v. 28, n. 2, p. 455–466, 1 ago. 2018.
- COSER, T. R. et al. Soil microbiological properties and available nitrogen for corn in monoculture and intercropped with forage. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1660–1667, 2016.
- COSTA, F. S. et al. Estoque De Carbono Orgânico No Solo E Emissões De Dióxido De Carbono Influenciadas Por Sistemas De Manejo No Sul Do Brasil (1). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 323–332, out. 2008.
- COYLE, D. R. et al. Soil fauna responses to natural disturbances, invasive species, and global climate change: Current state of the science and a call to action. **Soil Biology and Biochemistry**, 110 116-133. 2017
- CRUSCIOL, C. A. C. et al. Intercropping soybean and palisade grass for enhanced land use efficiency and revenue in a no till system. **European Journal of Agronomy**, v. 58, p. 53–62, 2014.
- CUNHA, J. L. X. L. et al. Water infiltration rate in yellow latosol under different soil management systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 11, p. 1021–1027, 1 nov. 2015.
- DANTAS, V. DE L. **O Papel Do Fogo Na Estruturação Funcional E Filogenética De Savanas E Florestas Tropicais**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de São Carlos, SP: 2014.
- DA ROCHA, J. E. C. et al. Matéria orgânica e qualidade físico-hídrica de um latossolo sob plantio de eucalipto e pastagem abandonada. **Cerne**, v. 22, n. 4, p. 381–388, 2016.
- DE FREITAS, L. et al. Estoque de carbono de latossolos em sistemas de manejo natural e alterado. **Ciencia Florestal**, v. 28, n. 1, p. 228–239, 1 jan. 2018.
- DIAS, L. J. B. DA S.; et al. **Zoneamento Ecológico-Econômico Do Maranhão (Zee-Ma) Etapa Bioma Cerrado E Sistema Costeiro**. 2 ed. ed. São Luís, MA: IMESC, 2021. v. 1
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining soil quality for a sustainable environment. In: **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3–22.
- DUARTE, L. M. G.; THEODORO, S. H. **Dilemas do Cerrado: entre o ecologicamente (in)correto e o socialmente (in)justo**. Rio de Janeiro, RJ: Garamond, 2002. v. 1

- EITEN, G. The Cerrado Vegetation Of Brazil. **The Botanical Review**. v 1, n 2. Brasília, DF: 1972.
- ERKOSSA, T.; ITANNA, F.; STAHR, K. Indexing soil quality: A new paradigm in soil science research. **Australian Journal of Soil Research**, v. 45, n. 2, p. 129–137, 2007
- ESPIG, S. A. et al. **Sazonalidade, Composição E Aporte De Nutrientes Da Serapilheira Em Fragmento De Mata Atlântica 1 Litter Seasonality, Composition And Nutrient Input In Remnant Of Atlantic Forest In The State Of Pernambuco, Brazil**. 949-956. 2009.
- FERREIRA, C. S. S.; PEREIRA, P.; KALANTARI, Z. Human impacts on soil. **Science of the Total Environment**. Elsevier, 10 dez. 2018.
- FERREIRA, L. E.; SOUZA, E. P. DE; CHAVES, A. F. Revisão de Literatura Adubação verde e seu efeito sobre os atributos do solo. **Revista Verde**, v. v. 7, n. n.1, p. 33–38, mar. 2012.
- FERREIRA, M. E. et al. Modeling landscape dynamics in the central Brazilian savanna biome: Future scenarios and perspectives for conservation. **Journal of Land Use Science**, v. 8, n. 4, p. 403–421, dez. 2013.
- FILHO, A. C.; COSTA, K. **The expansion of soybean production in the Cerrado**. São Paulo, SP: 2016. Disponível em: <[www.inputbrasil.org](http://www.inputbrasil.org)>.
- FILHO, K.J. Relação C/N e Proporção de Fontes Nitrogenadas na Produtividade de *Agaricus blazei* Murril e Poder Calorífico do Composto. **Dissertação (Mestrado)**. UNESP, Botucatu – SP. 2002.
- FILHO, J. F. M.; LIBARDI, P. L. Estabilidade Temporal De Medidas Do Teor E Do Potencial Mátrico Da Água No Solo Em Uma Transeção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p. 497–506, maio 2005.
- FONTANLEA, E. Parâmetros Físico-Hídricos De Um Latossolo Sob Diferentes Sistemas De Manejo E Níveis De Tráfego. **Dissertação (Mestrado)**. UFMS, Santa Maria – MS. 2008.
- FRANCO, A. C. Seasonal patterns of gas exchange, water relations and growth of *Roupala montana*, an evergreen savanna species. **Plant Ecology**, v. 136, p. 69, 1998.
- FRANZLUEBBERS, A. J. Should Soil Testing Services Measure Soil Biological Activity? **Agricultural & Environmental Letters**, v. 1, n. 1, p. 150009, jan. 2016.
- FREITAS, I. C. DE et al. Agrosilvopastoral Systems and Well-Managed Pastures Increase Soil Carbon Stocks in the Brazilian Cerrado. **Rangeland Ecology and Management**, v. 73, n. 6, p. 776–785, 1 nov. 2020.
- FREITAS, L. DE et al. Indicadores Da Qualidade Química E Física Do Solo Sob Diferentes Sistemas De Manejo. **Unimar Ciências - ISSN 1415-1642, Marília/SP, V. 26, (1-2), pp. 08-25, 2017**

FRIGHETTO, R. Y. S.; VALARINI, P. J.; Coords. **Indicadores Biológicos e Bioquímicos da qualidade do solo**: manual técnico. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 198p.

GARCÍA-VEGA, D.; NEWBOLD, T. Assessing the effects of land use on biodiversity in the world's drylands and Mediterranean environments. **Biodiversity and Conservation**, v. 29, n. 2, p. 393–408, 1 fev. 2020.

GASQUES, J. G. et al. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2019/20 a 2029/30, Projeções de Longo Prazo**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Secretaria de Política Agrícola (MAPA). Brasília – DF, 11 ed. 2020. Disponível em: <www.agricultura.gov.br>.

GIBBS, H. K. et al. Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 107, n. 38, p. 16732–16737, 21 set. 2010.

GOLLEY, F. B. et al. **Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida**. São Paulo, SP: Editora Pedagógica e Universitária, 1978. v. v. 1

GOMES, L. et al. Using Geotechnology to Estimate Annual Soil Loss Rate in the Brazilian Cerrado. **Journal of Geographic Information System**, v. 09, n. 04, p. 420–439, 2017.

GOMES, M. A. F. G.; FILIZOLA, H. F. **Indicadores Físicos E Químicos De Qualidade De Solo De Interesse Agrícola**. EMBRAPA, Jaguariúna: 2006.

HEGER, T. J. I. G. M. E. A. D. Special issue on “Bioindication in soil ecosystems”: Editorial note. **Eur. Jour. of Soil Biol**, v. 49, p. 1–4, 2012.

HUANG, J. et al. Nitrogen and phosphorus losses and eutrophication potential associated with fertilizer application to cropland in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 159, p. 171–179, 15 ago. 2017.

IBGE. **Biomass Continentais do Brasil Amazônia**. Informativo Técnico. 2018. Disponível em: <www.ibge.gov.br>.

INGRAM, J. S. I.; ANDERSON, J. M. (JONATHAN M. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. CAB International, 1993.

IPCC. **Climate change 2014: mitigation of climate change: Working Group III contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>. Acesso em: 14 dez. 2021.

JÄNSCH, S.; RÖMBKE, J.; DIDDEN, W. The use of enchytraeids in ecological soil classification and assessment concepts. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 62, n. 2, p. 266–277, out. 2005.

JÚNIOR, E. B. DE A.; CHAVES, L. J.; SOARES, T. N. Genetic characterization of a germplasm collection of cagaiteira, A species native to the cerrado. **Bragantia**, v. 73, n. 3, p. 246–252, 1 jul. 2014.

KAMAU, S. et al. Soil macrofauna abundance under dominant tree species increases along a soil degradation gradient. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 112, p. 35–46, 1 set. 2017.

KAMIMURA, K. M. et al. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho sob cultivo de arroz de terras altas em diferentes manejos do solo e água. **Bragantia**, v. 68, n. 3, p. 723–731, set. 2009.

KARLEN, D. L. et al. Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation (A Guest Editorial). **Soil Science Society of America Journal**. 61:4-10 (1997).

KARLEN, D. L.; DITZLER, C. A.; ANDREWS, S. S. Soil quality: Why and how? **Geoderma**, v. 114, n. 3–4, p. 145–156, 2003.

KER, J. C. Latossolos Do Brasil: Uma Revisão. **Geonomos**, v. 5, n. 1, p. 17–40, 2000.

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

LABGEO, L. DE G. **Atlas do Maranhão**. 2 ed. ed. São Luís, MA: GEPLAN, 2002. v. v. 2

LACHER, T. E.; ALHO, C. J. R. Terrestrial Small Mammal Richness and Habitat Associations in an Amazon Forest–Cerrado Contact Zone1. **Biotropica**, v. 33, n. 1, p. 171, 2001.

LAL, R. **Challenges and opportunities in soil organic matter research**. European Journal of Soil Science. **Anais...abr.** 2009.

LAL, R. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. **Sustainability (Switzerland)**, v. 7, n. 5, p. 5875–5895, 2015.

LAVELLE, P. et al. Soil ecosystem services and land use in the rapidly changing orinoco river basin of colombia. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 185, p. 106–117, 1 mar. 2014.

LECLERCQ-DRANSART, J. et al. Litter breakdown as a tool for assessment of the efficiency of afforestation and ash-aided phytostabilization on metal-contaminated soils functioning in Northern France. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 19, p. 18579–18595, 27 jul. 2018.

LIMA, S. S. DE et al. Relação entre macrofauna edáfica e atributos químicos do solo em diferentes agroecossistemas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 3, p. 322–331, mar. 2010.

LOVATO, T.; MIELNICZUCK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição De Carbono E Nitrogênio E Sua Relação Com Os Estoques No Solo E Com O Rendimento Do Milho Em Sistemas De Manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:175-187, 2004.

MACHADO, D. L. et al. Soil Fauna In Successional Dynamics Of Atlantic Forest In Semi-Deciduous Seasonal Forest In The Basin Of River “Paraíba Do Sul”, Rio De Janeiro State. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 1, p. 91–106, 17 jun. 2015.

MANTOVANI, W.; MARTINS, F. R. Variações fenológicas das espécies do cerrado da Reserva Biológica de Moji Guaçu, Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Botânica** v. 1, p. 101–112, 1998.

MARANHÃO, R. L. A. et al. The Spatiotemporal Dynamics of Soybean and Cattle Production in Brazil. **Sustainability**, v. 11, n. 7, p. 2150, 11 abr. 2019.

MARCHIORI JÚNIOR, M.; JOSÉ, W.; MELO, D. E. Alterações Na Matéria Orgânica E Na Biomassa Microbiana Em Solo De Mata Natural Submetido A Diferentes Manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.6, p.1177-1182, jun. 2000

MARQUES, D. M. et al. Edaphic Macrofauna In Different Plant Covers. **Original Article Bioscience Journal**, v. v. 30, n. 5, p. 1588–1597, 2014.

MARTINS, M. B. Desempenho Operacional E Econômico De Sistema De Preparo Profundo Do Solo Em Faixa No Plantio Mecanizado Da Cana-De-Açúcar. **Tese (Doutorado)** – Universidade Estadual Paulista. Botucatu, SP: 2018.

MARX, M. T. et al. Soil Fauna Abundance, Feeding and Decomposition in Different Reclaimed and Natural Sites in the Sanjiang Plain Wetland, Northeast China. **Wetlands**, v. 36, n. 3, p. 445–455, 1 jun. 2016.

MATSUMOTO, L. S.; MARQUES, R. D. **Bioindicadores De Qualidade Do Solo**. IV Reunião Paranense de Ciência do Solo. 2015 [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/278006276>> Acesso em: 14 dez. 2021..

MENDES, M. R. DE A. et al. Relação entre a vegetação e as propriedades do solo em áreas de campo limpo úmido no Parque Nacional de Sete Cidades, Piauí, Brasil. **Rodriguésia**, v. 63, n. 4, p. 971–984, 2012.

MICKAËL, H. et al. Orchard management influences both functional and taxonomic ground beetle (Coleoptera, Carabidae) diversity in South-East France. **Applied Soil Ecology**, v. 88, p. 26–31, 1 abr. 2015.

MIOTTO, A. et al. Soil acidity and aluminum speciation affected by liming in the conversion of a natural pasture from the Brazilian Campos Biome into no-tillage system for grain production. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 66, n. 2, p. 138–151, 28 jan. 2020.

MIRANDA, A. C. et al. Fluxes of carbon, water and energy over Brazilian cerrado: an analysis using eddy covariance and stable isotopes. **Plant, Cell and Environment**, v. 20, n. 3, p. 315–328, mar. 1997.

- MOREIRA, A.; KUMAR FAGERIA, N. Liming Influence On Soil Chemical Properties, Nutritional Status And Yield Of Alfalfa Grown In Acid Soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:1231-1239, 2010.
- MORZELLE, M. C. et al. Caracterização química e física de frutos de Curriola, gabirola e murici provenientes do cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 1, p. 96–103, 2015.
- MÜLLER, H. et al. Mining dense Landsat time series for separating cropland and pasture in a heterogeneous Brazilian savanna landscape. **Remote Sensing of Environment**, v. 156, p. 490–499, 1 jan. 2015.
- NEPSTAD, D. et al. Slowing Amazon deforestation through public policy and interventions in beef and soy supply chains. **Science**, vol. 344 ISSUE 6188. Washington, DC: 2014.
- NESPER, M. et al. Pasture degradation decreases organic P content of tropical soils due to soil structural decline. **Geoderma**, v. 257–258, p. 123–133, 2015.
- NETO, F. V. DA C. et al. Atributos químicos e físicos do solo em áreas sob diferentes coberturas florestais e pastagem em além paraíba - MG. **Ciencia Florestal**, v. 28, n. 1, p. 13–24, 1 jan. 2018.
- NEVES, C. M. N. DAS et al. Carbon stock in agricultural-forestry-pasture, planted pasture, and eucalyptus systems under conventional tillage in the northwestern region of the Minas Gerais State. **Ciência e Agrotecnologia**, v. V. 28, n. n. 5, p. 1038–2004, out. 2015.
- NIERO, L. A. C. et al. Avaliações Visuais Como Índice De Qualidade Do Solo E Sua Validação Por Análises Físicas E Químicas Em Um Latossolo Vermelho Distroférico Com Usos E Manejos Distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:1271-1282, 2010.
- OLIVEIRA, J. B. DE; JACOMINE, P. K. T.; CAMARGO, M. N. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento**. [s.l.] UNESP/Funep, 1992.
- OLIVEIRA, P. E.; GIBBS, P. E. Reproductive biology of woody plants in a cerrado community of Central Brazil. **Flora**, v. 195, n. 4, p. 311–329, dez. 2000.
- ORTIGARA, C. et al. Uso Do Solo E Propriedades Físico-Mecânicas De Latossolo Vermelho (1). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p. 619–626, 3 nov. 2014.
- PAUSAS, J. G.; DANTAS, V. DE L. Scale matters: fire–vegetation feedbacks are needed to explain tropical tree cover at the local scale. **Global Ecology and Biogeography**, v. 26, n. 4, p. 395–399, 1 abr. 2017.
- PELOSI, C. et al. Soil Oligochaeta communities after 9 decades of continuous fertilization in a bare fallow experiment. **Soil Organisms**, v. v. 92, n. n. 2, p. 129–142, 2020.

PENNINGTON, R. T.; LEHMANN, C. E. R.; ROWLAND, L. M. Tropical savannas and dry forests. **Current Biology Cell Press**, 7 maio 2018.

PEREIRA, J. DE M. et al. Relationships Between Microbial Activity And Soil Physical And Chemical Properties In Native And Reforested *Araucaria angustifolia* Forests In The State Of São Paulo, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 572–586, 2013.

PEREIRA, M. P. S. et al. Influência da heterogeneidade da serapilheira sobre as formigas que nidificam em galhos mortos em floresta nativa e plantio de eucalipto. **Neotropical Biology and Conservation**, v. v. n, n. n.3, p. 161–164, 2007.

PERON, A. J.; EVANGELISTA, A. R. Pasture degradation in savanna's regions. **Ciência e Agrotecnologia**, v. v. 28, n. n. 3, p. 655–661, maio 2004.

PITTA, F. T.; VEGA, G. C. Impacts Of Agribusiness Expansion In The Matopiba Region: Communities And The Environment. **ActionAid** ed. Rio de Janeiro - RJ: Rede Social de Justiça e Direitos Humanos, 2017. v. 1

POMIANOSKI, D. J. W.; DEDECEK, R. A.; VILCAHUAMAN, L. J. M. Efeito do Fogo nas Características Químicas e Biológicas do Solo no Sistema Agroflorestal da Bracatinga. **Bol. Pesq. FI**, p. 93–118, 2006.

PORTO, D. W. B. et al. Atributos físicos de um latossolo vermelho-amarelo distrófico sob diferentes sistemas. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 46222–46234, 2020.

PRADO, H. DO. **Pedologia Fácil: aplicações em solos tropicais**. 5 ed. ed. Piracicaba, SP: Esalq/USP, 2016.

QIN, Y. et al. GC-MS analysis of membrane-graded fulvic acid and its activity on promoting wheat seed germination. **Molecules**, v. 21, n. 10, 1 out. 2016.

RÁPALO, L. M. C. et al. Effects of land-use and -cover changes on streamflow regime in the Brazilian Savannah. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 38, p. 100934, dez. 2021.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades físicas do solo**. Santa Maria: Departamento de Solos, UFSM, 18 p. 2006

RHEINHEIMER, D. DOS S. et al. Modificações nos atributos químicos de solo sob campo nativo submetido à queima. **Ciência Rural**, v. v. 33, n. n. 1, p. 49–55, 27 fev. 2003.

RHEINHEIMER, D. S. et al. Residual effect of surface-applied lime on soil acidity properties in a long-term experiment under no-till in a Southern Brazilian sandy Ultisol. **Geoderma**, v. 313, p. 7–16, 1 mar. 2018.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. **Fitofisionomias Do Bioma Cerrado**. Brasília, DF: 87-166, 1998.

- RIBEIRO, T. C. **Diversidade De Formigas (Hymenoptera: Formicidae) De Fragmentos Florestais Em Santa Maria, Rio Grande Do Sul, Brasil**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa. Snata Maria, RS: 2011.
- SAMSON, R. et al. The potential of C4 perennial grasses for developing a global BIOHEAT Industry. **Critical Reviews in Plant Sciences**, set. 2005.
- SANO, E. E. et al. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 166, n. 1–4, p. 113–124, jul. 2010.
- SANO, E. E. et al. Cerrado ecoregions: A spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation. **Journal of Environmental Management**, v. 232, p. 818–828, 15 fev. 2019.
- SANO, S. MATIKO. et al. **Cerrado: ecologia e flora**. Embrapa Informação Tecnológica, 2008.
- SANTOS, H. G. DOS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2018. v. 5
- SAVIOLI, J. S. et al. Desempenho operacional e atributos físicos do solo sob tráfego de trator agrícola. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, p. e3269119903, 15 nov. 2020.
- SCARAMUZZA, C. A. DE M. et al. Mapeamento de Uso e Cobertura de Terras do Cerrado com Base Principalmente em Imagens do Satélite Landsat-8. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, N 69/6, p. 1041-1051, Jun/2017.
- SCHOLES, R. J.; ARCHER, S. R. Tree-Glass Interactions In Savannas. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**. 1997. 28:517-44 Disponível em: <[www.annualreviews.org](http://www.annualreviews.org)>.
- SCHUMACHER, M. V. et al. LITTER PRODUCTION AND DECOMPOSITION IN Eucalyptus urophylla x Eucalyptus globulus maidenii STAND. **Cerne**, v. v. 19, n. 3, p. 501–508, 2013.
- SILVA, D. M. DA et al. Os efeitos de regimes de fogo sobre a vegetação do Cerrado no Parque Nacional das EMAS, GO: Considerações para a conservação da diversidade. **Biodiversidade Brasileira**, p. 26–39, 2011.
- SILVA, D. M. M. H. DA. Macrofauna Edáfica, Biomassa Microbiana E Qualidade Do Solo Em Área Cultivada No Cerrado Amapaense Com E Sem Uso Do Fogo E Adubação Alternativa. **Dissertação (Mestrado)** – Universidade Federal do Amapá. Macapá, AM: 2009.
- SILVA, G. R. DA; SILVA, M. L. J. DA; MELO, V. S. DE. Efeitos de diferentes usos da terra sobre as características químicas de um latossolo amarelo do Estado do Pará. **Acta Amazonica**, v. 36, n. 2, p. 151–158, 2006.

- SILVA, M. A. C. DA et al. Aplicação Superficial De Calcário Em Pomar De Laranja Pêra Em Produção 1. **Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal-SP**, p. 606–612, 2007.
- SILVA, V. R. DA; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. **Ciência Rural**, v. 34, n. 2, p. 399–406, 2004.
- SILVA, L. Impacto das alterações ambientais sobre a decomposição da serapilheira em vegetação de Cerrado. **Tese (Doutorado)** - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.14393/ufu.te.2018.461>>. Acesso em: dez/2021
- SIMÕES, M. S. Cultura de células em suspensão como ferramenta para estudos em parede celular secundária em gramíneas C4. **Dissertação (Mestrado)** – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP: 2017.
- SINGH RANDHAWA, K.; CHAUHAN, R. Stabilizing black cotton soil in subgrade with municipal solid waste incineration ash for lowering greenhouse gas emission: A review. **Materials Today: Proceedings**, ago. 2021.
- SKORUPA, A. L. A.; BARROS, N. F. DE; NEVES, J. C. L. Forest Litter Decomposition As Affected By Eucalyptus Stand Age And Topography In South-Eastern Brazil. **Revista Árvore**, v. 39, n. 6, p. 1055–1064, 1 dez. 2015.
- SOARES, M. B. et al. Integrated production systems: An alternative to soil chemical quality restoration in the Cerrado-Amazon ecotone. **Catena**, v. 185, 1 fev. 2020.
- SOARES, S. DA C. et al. Atributos Químicos De Um Argissolo Vermelho-Amarelo Influenciado Pela Queimada Após Nove Anos De Pousio No Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v. v. 9, n. n. 3, p. 9–17, set. 2019.
- SOARES, L. V. et al. Brazilian Cerrado fruits and their potential use in bakery products. In: **Bread: Consumption, cultural significance and health effects**. H. Lewis (Ed.) ed. New York: Nova Publisher, 2017. p. 125–160.
- SOTERRONI, A. C. et al. Expanding the Soy Moratorium to Brazil's Cerrado. **Science Advances**. 2019. Disponível em: <<http://advances.sciencemag.org/>>.
- SOUZA, A. DE et al. Gramíneas do cerrado: carboidratos não-estruturais e aspectos ecofisiológicos. **Acta Botânica Brasileira**, 19(1):81-90. 2005.
- SOUZA, Z. M. DE; ALVES, M. C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 18–23, abr. 2003.
- SPERA, S. T. et al. Características Físicas De Um Latossolo Vermelho-Escuro No Cerrado De Planaltina, Df, Submetido À Ação Do Fogo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. V. 35, n. 9, p. 1817–1824, 2000.

SPINELLI-ARAUJO, L. et al. **Conservação da Biodiversidade do Estado do Maranhão: Cenário Atual em Dados Geoespaciais**. (Documentos) Embrapa Meio Ambiente. Jaguariúna, SP: 2016

STEFANOSKI, D. C. et al. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.12, p.1301–1309, 2013.  
STÖCKER, C. M. et al. Bioindicadores da qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista da Jornada de Pós Graduação e Pesquisa**. Uscamp, 2017.

STRASSBURG, B. B. N. et al. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology and Evolution**, n 1 0099. 2017.

TIRITAN, C. S. et al. Tillage system and lime application in a tropical region: Soil chemical fertility and corn yield in succession to degraded pastures. **Soil and Tillage Research**, v. 155, p. 437–447, 1 jan. 2016.

TOMASELLA, J. et al. Desertification trends in the Northeast of Brazil over the period 2000–2016. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 73, p. 197–206, 1 dez. 2018.

VALADÃO, F. C. DE A. et al. Adubação Fosfatada E Compactação Do Solo: Sistema Radicular Da Soja E Do Milho E Atributos Físicos Do Solo. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 39, n. 1, p. 243–255, 2015.

VALLADARES, G. S. et al. **Proposta para Classificação de Organossolos em Níveis Inferiores com Base nas Frações**. Campinas, SP. Embrapa Monitoramento por Satélite, dez. 2003.

VAN VLIET, P. C. J.; COLEMAN, D. C.; HENDRIX, P. F. Population dynamics of Enchytraeidae (Oligochaeta) in different agricultural systems. **Biology and Fertility of Soils**, v. 25, n. 2, p. 123–129, 5 ago. 1997.

VIEIRA, A. S. et al. Estimating water erosion from the brightness index of orbital images: A framework for the prognosis of degraded pastures. **Science of the Total Environment**, v. 776, 1 jul. 2021a.

VIEIRA, J. A. G. et al. Produção de Serapilheira e Retorno de Nutrientes ao Solo pela Espécie Eucalyptus urograndis Litter Production and nutrients return to Soil by Specie Eucalyptus urograndis. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. v. 4, n. n. 2, p. 40–43, 2009.

VIEIRA, R. M. DA S. P. et al. Land degradation mapping in the MATOPIBA region (Brazil) using remote sensing data and decision-tree analysis. **Science of the Total Environment**, v. 782, 15 ago. 2021b.

VIEIRA, S. A. et al. Estimation of biomass and carbon stocks: the case of the Atlantic Forest. **Biota Neotropica**, v. 8, n. 2, p. 21–29, jun. 2008.

VILLA, E. B. et al. Aporte de Serapilheira e Nutrientes em Área de Restauração Florestal com Diferentes Espaçamentos de Plantio. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 1, p. 90–99, 19 fev. 2016.

WANG, S. et al. Phosphorus Loss Potential and Phosphatase Activity under Phosphorus Fertilization in Long-Term Paddy Wetland Agroecosystems. **Soil Science Society of America Journal**, v. 76, n. 1, p. 161–167, jan. 2012.

WATCHARAMONGKOL, T.; CHRISTIN, P. A.; OSBORNE, C. P. C4 photosynthesis evolved in warm climates but promoted migration to cooler ones. **Ecology Letters**, Blackwell Publishing Ltd, 1 mar. 2018.

WATSON, C. J.; MATTHEWS, D. I. A 10-year study of phosphorus balances and the impact of grazed grassland on total P redistribution within the soil profile. **European Journal of Soil Science**, v. 59, n. 6, p. 1171–1176, dez. 2008.

WERNER, W. J.; SANDERMAN, J.; MELILLO, J. M. Decreased Soil Organic Matter in a Long-Term Soil Warming Experiment Lowers Soil Water Holding Capacity and Affects Soil Thermal and Hydrological Buffering. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 125, n. 4, 1 abr. 2020.

WERTEBACH, T. M. et al. Soil carbon sequestration due to post-Soviet cropland abandonment: estimates from a large-scale soil organic carbon field inventory. **Global Change Biology**, v. 23, n. 9, p. 3729–3741, 1 set. 2017.

WU, P.; WANG, C. Differences in spatiotemporal dynamics between soil macrofauna and mesofauna communities in forest ecosystems: The significance for soil fauna diversity monitoring. **Geoderma**, v. 337, p. 266–272, 1 mar. 2019.

YOUSUF, A.; SINGH, M. **Watershed Hydrology, Management and Modeling**. 1 st. ed. Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor & Francis Group, [2020]: CRC Press, 2019.

ZHAO, Y.; LI, Y.; YANG, F. Critical review on soil phosphorus migration and transformation under freezing-thawing cycles and typical regulatory measurements. **Science of The Total Environment**, 751, 141614. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.1416 (2021).

## **CAPÍTULO 2 - IMPACTOS CAUSADOS POR ALTERAÇÕES ANTRÓPICAS EM ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DE SOLO SOB DIFERENTES MANEJOS NO CERRADO MARANHENSE**

### **ABSTRACT**

The Cerrado is the last agricultural frontier in Brazil and its biodiversity is threatened. The objective of this project was to evaluate the impacts of anthropic changes on the physical, chemical and biological attributes of the soil under different managements in the Cerrado of *Maranhão*. The study was conducted on a farm located in the municipality of Porto Franco, in the western region of the State of Maranhão, located in the *Cerrado* biome, Northeast region of Brazil. The experimental areas were selected from the two main land uses in the region: abandoned pasture (PA) and extensive pasture with a history of agriculture (PE), in addition, a reference area of native forest of the Cerrado biome (FL). The experimental design was completely randomized, with three areas (PA, PE and FL) and five replications for biological and physical attributes and four replications for soil chemical attributes. The averages of physical and chemical attributes were submitted to factor analysis, the difference between the averages was analyzed by Tukey's test at 5% probability. For chemical attributes, principal component analysis was applied. The edaphic macrofauna results were submitted to the generalized linear model and Tukey test at 5% probability. The results showed that the use of land with pasture, whether PA or PE, presented the highest values for soil fertility indicators, due to liming, fertilization and deposition of organic, animal and plant residues on the surface. In these land uses, the presence of perennial tropical grasses provided an input of organic matter and an increase in carbon stocks in the soil, equaling, and in the case of the PA area exceeding those observed in the FL. However, the conversion of native vegetation to pasture reduced the richness of orders of edaphic macrofauna. The contributions of organic matter by the underground and aerial biomass of the grasses, in addition to the absence of mechanization and natural restoration of the vegetation, reflected in the increase of porosity and reduction of the density of the soil in the PA. In the PE, the organic matter oxidized by the intensive use of mechanization and the burning practices was recovered by the regrowth of the remaining grasses and residues from soybean cultivation, as the results showed similarity with the reference area. Therefore, the conversion of the forest into pastures altered the attributes of the soil, and the organic matter was the main factor that influenced the restoration of the soil in the anthropized areas.

**Keywords:** Soil fertility indicators; Soil density; Soil organic matter; Edaphic macrofauna.

## INTRODUÇÃO

O Maranhão, localizado entre a região Norte e Nordeste do Brasil, configura um complexo mosaico de paisagens e ecossistemas transicionais, composto pela Amazônia Legal, Caatinga, Zona Costeira e Cerrado (Alencar et al., 2020; Dias et al., 2021). O Cerrado Maranhense domina a paisagem natural, ocupa 64,1% do território do Estado (Gibbs et al., 2010). No entanto, a biodiversidade está ameaçada, pois o Maranhão compõe o MATOPIBA, uma das regiões mais dinâmicas do país em termos de conversão de terras, onde avança a última fronteira agrícola do Brasil (Vieira et al., 2021b).

O MATOPIBA, região oficialmente delimitada pelo governo federal, tem 91,07% de área composta pelo Cerrado dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (Barros; Stege, 2019). Nas últimas quatro décadas o desenvolvimento da região contribuiu para que, aproximadamente, 50% da vegetação nativa do Cerrado fosse suprimida pela expansão de cultivos comerciais, predominantemente soja, milho, algodão e pastagens extensivas (Pitta; Vega, 2017). Em 2018, 25% das exportações brasileiras de soja foram provenientes do cultivo no bioma, caracterizando-o com elevada importância estratégica devido a produção de *commodities* (Maranhão et al., 2019; Soterroni et al., 2019).

As projeções de desmatamento, de 2002 a 2050, indicam que o Cerrado provavelmente perderá 40.000 km<sup>2</sup> de sua vegetação natural por década, concomitante à extensa fragmentação da paisagem (Tomasella et al., 2018). Nesse cenário, 48,46% da área nativa do Cerrado Maranhense foi alterada, dando lugar à pecuária associada ao extrativismo e ao cultivo de grãos na região Centro-Sul do estado, ocupando 46% e 2,46% da área, respectivamente (Bolfé; Sano; Campos, 2020).

Estima-se que 32 milhões de hectares de pastagens no Cerrado, cerca de 60% das pastagens plantadas no Brasil, estão degradadas ou em processo de degradação (Soares et al., 2020). Esse dado está atrelado ao fato de que áreas em que há remoção e conversão da vegetação original em pastagens extensivas, ou culturas cultivadas, são mais suscetíveis a erosão e degradação dos solos (Duarte; Theodoro, 2002; Ferreira et al., 2013; Gomes et al., 2017; Yousuf; Singh, 2019).

O manejo inadequado, combinado com a ausência de práticas conservacionistas, são as causas mais comuns antrópicas da erosão e degradação, associados à qualidade e estrutura do solo (Vieira et al., 2021a). Estes fenômenos são potencializados no Cerrado Maranhense, devido às propriedades de seus solos, compostos por Latossolos (44,1% da área) e Neossolos Quartzarênicos (21,4% da área), que correspondem a solos profundos, com alto grau de intemperismo e baixa reposição de nutrientes (Sano et al., 2019).

O modelo extensivo de cultivo de pastagens, caracterizado como extrativista, contribui para diversas modificações no solo. Dentre elas, cita-se os baixos estoques de carbono orgânico nos horizontes superficiais (Almeida; Luizão; Rodrigues, 2015), gradiente de fertilidade, acidez (Vieira et al., 2009) e compactação de solos (Valadão et al., 2015), o que compromete a máxima expressão produtiva das pastagens.

Além de contribuírem para as emissões de carbono pelo solo, as pastagens degradadas promovem o aumento das perdas de matéria orgânica, devido às reduções no aporte de serapilheira. Como consequência, apresentam declínio da produtividade, perda de vigor e incapacidade de superar os efeitos nocivos de pragas, doenças e plantas invasoras (Nesper et al., 2015; Peron; Evangelista, 2004).

Há diversos estudos que têm como objetivo identificar e avaliar, de forma visual, através de imagens de resolução espacial moderada a baixa, os níveis de degradação das pastagens no Cerrado (Brasil, 2015; IBGE, 2018; Sano et al., 2010, 2019). Apesar de os mapeamentos terem destaque na literatura, os impactos das alterações antrópicas no uso do solo podem ser melhor retratados, por meio do estudo das propriedades do solo (Ferreira; Pereira; Kalantari, 2018). Dessa forma, a decisão sobre a adoção do manejo conservacionista pode ser realizada de maneira consciente e adequada, atendendo as peculiaridades da região.

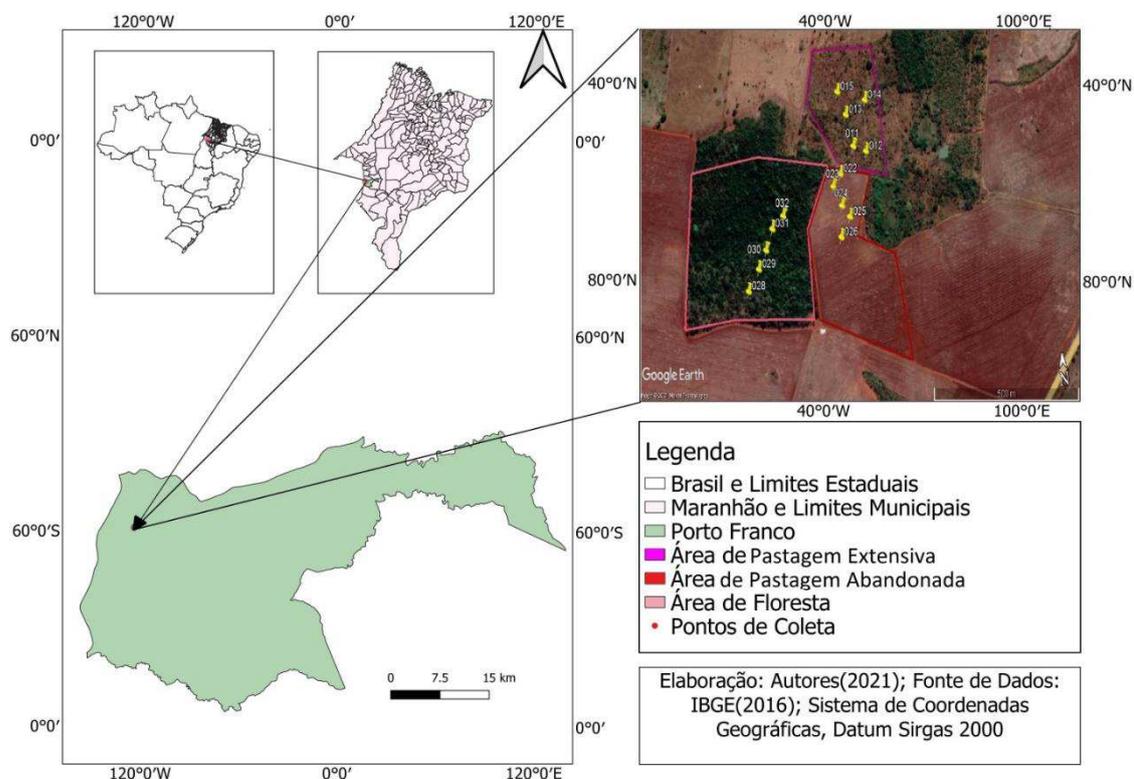
O presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de avaliar os impactos das alterações antrópicas nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo sob diferentes manejos no Cerrado Maranhense, e gerar conhecimento para auxiliar na conservação deste bioma. Este objetivo foi baseado na hipótese que, a conversão da vegetação nativa em pastagem extensiva promoveu a diminuição da diversidade da macrofauna edáfica, estoques de carbono orgânico, teores de nutrientes e aumento da densidade do solo, e quando a pastagem foi abandonada, o solo tendeu a restabelecer as condições parecidas à vegetação nativa.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Caracterização da área experimental**

O estudo foi conduzido em uma Fazenda localizada no município de Porto Franco, na região Oeste estado do Maranhão (Latitude: 6° 20' 29" Sul, Longitude: 47° 24' 6" Oeste), inserida no bioma Cerrado Maranhense, Região Nordeste do Brasil (Figura 1).

**Figura 1.** Localização da área experimental, no município de Porto Franco, região Oeste do estado do Maranhão. Imagens das áreas de pastagem abandonada (PA), pastagem extensiva (PE) e Floresta (FL).



O clima predominante na região é tropical quente e úmido, caracterizado como AW', de acordo com a classificação de Köppen-Geiger, com duas estações bem definidas. O período chuvoso, que se concentra entre novembro a 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 °C e 32,1 °C (LABGEO, 2002).

O relevo é plano e o solo foi classificado no local como Latossolo Vermelho, com transição difusa entre os horizontes, intemperizado, com predominância de caulinita e óxidos de ferro e alumínio na fração argilomineral (ki e kr <2,0) (Santos, 2018), textura argilosa com 310 g dm<sup>-3</sup> de areia, 180 g dm<sup>-3</sup> de silte e 510 g dm<sup>-3</sup> de argila.

As áreas experimentais foram selecionadas a partir dos dois principais usos da terra no Oeste do estado do Maranhão: pastagem abandonada (PA) e pastagem extensiva com histórico de agricultura (PE), além de uma área de floresta nativa do bioma Cerrado (FL).

Ambas estão situadas na mesma posição do relevo, adjacentes e separadas por cercas (Figura 1). O histórico das áreas foi fornecido pelo proprietário da Fazenda.

A vegetação primária da área de PE foi retirada gradualmente entre 1983 e 1986, e convertida em cultivo de arroz e milho. Em 1986, os cultivos foram substituídos por braquiária cv. Marandu (*Urochloa brizantha*) e capim andropogon (*Andropogon gayanus Kunth*). A partir de 1986 o manejo adotado foi corte a cada dois anos, mantido até de 2002.

Entre 2002 e 2014, a área de PE foi cultivada com cana-de-açúcar, em dois plantios e onze colheitas. O solo foi submetido ao preparo mecanizado, seguido de abertura de sulcos com 30 cm de profundidade, espaçados em 1,50 m. O plantio foi realizado com 14 gemas sadias por metro linear de sulco e a correção da acidez e fertilização efetuada de acordo com a análise de solo, porém não há registros das quantidades de fertilizantes utilizadas. As colheitas foram realizadas com despalha à fogo e corte manual. Após 2014, a área voltou a ser manejada para pecuária extensiva, com o surgimento de remanescentes de capim braquiária e andropogon.

Em 2020 houve a implantação do cultivo de soja. A área foi submetida à limpeza através da utilização de uma pá carregadeira, seguida de gradagem, com grade acoplada a um trator de pneu. Foi utilizada calagem e fertilização, esta no momento do plantio na quantidade de 100 kg de fósforo e 80 kg de potássio por hectare. As cultivares comerciais utilizadas foram HO Juruena e FTS 4280, com 220 mil plantas ha<sup>-1</sup> e 240 mil plantas ha<sup>-1</sup>, respectivamente, ambas espaçadas em 0,5 m.

A pastagem na área PA foi implantada na década de 70, formada por braquiária cv. Marandu. A aplicação de fertilizantes e calagem foi eventual, sem registro da quantidade. A área foi submetida à roçada a cada dois anos e aplicação de herbicidas, até meados de 2017, sem manejo desde então. A lotação de animais é desconhecida em ambas as áreas (PE e PA), pois não há controle sobre o trânsito e a quantidade de animais.

A vegetação predominante na área de Floresta (FL) esta inalterada desde a ocupação da propriedade, representa o estado original do solo sob vegetação característica do bioma Cerrado Maranhense.

As amostragens foram realizadas em três usos do solo (PE, PA e FL) e quatro repetições para os atributos químicos, cinco repetições para os atributos biológicos e físicos, e três para a Vib. A coleta de amostras foi executada em maio de 2021, coincidindo com o final do período chuvoso da região. Para cada área selecionada, delimitou-se uma gleba representativa de aproximadamente 0,75 ha, composta de cinco unidades amostrais

equidistantes 50 m. Os pontos de coleta foram registrados com auxílio de um GPS (*Global Positioning System*).

### **Variáveis analisadas**

Em cada unidade amostral, os atributos físicos avaliados foram a densidade do solo (DS), porosidade total (PR), umidade com base em massa (UMM), umidade volumétrica (UMV) e a velocidade básica de infiltração (Vib). Para a determinação de DS, PR, UMM e UMV foram abertas trincheiras de dimensão 50 cm x 50 cm x 40 cm, e coletadas três amostras indeformadas de solo por profundidade (0-5; 5-10; 10-20 e 20-30 cm), com o auxílio de anéis cilíndricos metálicos.

As amostras indeformadas foram pesadas em balança de precisão, subtraindo-se a gramatura do anel, para quantificação da massa úmida do solo e, em seguida, transferidos para estufa por 72 horas a 105-110 °C. Ao término desse período, os solos foram pesados novamente para determinar a massa seca.

Os valores de densidade do solo foram obtidos pela seguinte equação:

$$DS = \frac{Ms}{Vt} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

DS = densidade do solo (g cm<sup>-3</sup>)

Ms = massa seca (g)

Vt = volume total do anel (104,04 cm<sup>-3</sup>)

Os valores de porosidade total foram obtidos através da seguinte equação:

$$PR = \left[ 1 - \left( \frac{DS}{DP} \right) \right] * 100 \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

PR = porosidade total (%)

DS = densidade do solo (g cm<sup>-3</sup>)

DP = densidade de partícula (g cm<sup>-3</sup>)

Os valores da umidade com base em massa foram obtidos através da seguinte equação:

$$UMM = \frac{ma}{Ms} \quad \text{Eq. 3}$$

Onde:

UMM = umidade com base em massa (g g<sup>-1</sup>)

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

Ms = massa seca do solo (g)

Os valores da umidade com base em volume foram obtidos através da seguinte equação:

$$UMV = UMM * DS \quad \text{Eq. 4}$$

Onde:

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

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

DS = densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ )

O método para a determinação da velocidade de infiltração da água no solo (Vib) foi realizado de acordo com a metodologia de Brandão (2006), em três unidades amostrais, com dois anéis concêntricos, o externo com 600 mm de diâmetro e o interno com 300 mm de diâmetro, introduzidos no solo a uma profundidade de 150 mm.

Os atributos químicos avaliados em cada unidade amostral foram potássio ( $\text{K}^+$ ), cálcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{+2}$ ) e alumínio ( $\text{Al}^{+3}$ ) trocáveis, fósforo disponível (P), potencial hidrogeniônico (pH), acidez potencial (H+Al), matéria orgânica (MO), estoque de carbono orgânico (ECO), soma de bases (SB), capacidade de troca de catiônica efetiva (t), capacidade de troca catiônica a pH 0,7 (T), saturação de bases (V) e saturação de alumínio (m). As amostras deformadas de solo, coletadas nas trincheiras abertas para a coleta das amostras indeformadas, foram compostas por três subamostras por profundidade (0-5; 5-10; 10-20 e 20-30 cm).

A correção do estoque de carbono foi realizada de acordo com Carvalho (2009), onde a espessura da camada estudada é corrigida em relação à área de referência. Os valores corrigidos foram obtidos pela seguinte equação:

$$ECO = \frac{Cs * Ds * (\frac{Dref * e}{Ds})}{10} \quad \text{Eq. 6}$$

Onde:

ECO = estoque de carbono orgânico em determinada profundidade ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )

Cs = teor de carbono orgânico total na profundidade amostrada ( $\text{g Kg}^{-1}$ )

Ds = densidade do solo na profundidade amostrada ( $\text{kg dm}^{-3}$ )

Dref = densidade do solo para a profundidade amostrada na área de referência ( $\text{kg dm}^{-3}$ )

e = espessura da camada considerada (cm)

A coleta de amostras da serapilheira e macrofauna edáfica foram realizadas utilizando-se a metodologia recomendada pelo Programa “Tropical Soil Biology and Fertility” (TSBF) (Ingram; Anderson, 1993). Em cada unidade amostral, foi coletado um monólito de solo,

com o auxílio de um gabarito de metal, com dimensão 25 x 25 cm, nos 0-10 e 10-20 cm de profundidade.

A serapilheira foi coletada da superfície do solo, acondicionada em sacos de papel e pesadas para a determinação da massa fresca (MF). Em seguida, as amostras foram mantidas em estufa de circulação forçada de ar, por 48 horas à 65 °C, para obter a massa seca (MS).

A triagem das amostras de macrofauna foi realizada manualmente, com a coleta de todos os indivíduos com mais de 10 mm de comprimento ou com diâmetro corporal superior a 2 mm. Os indivíduos coletados foram armazenados em solução de álcool a 70%. A identificação e a contagem foram efetuadas com auxílio de lupa binocular. Os indivíduos foram classificados conforme a ordem, calculando-se a densidade (indivíduos por metro quadrado), frequência, constância e riqueza.

### **Análises estatísticas**

As análises estatísticas foram realizadas considerando um delineamento inteiramente casualizado. Para garantir a análise de premissas de variância (ANOVA), os resultados foram verificados quanto à normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e homocedasticidade por Bartlett a 5% de probabilidade. As médias dos atributos físicos e químicos foram submetidos à análise fatorial, a diferença entre as médias foi analisada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para os atributos químicos, foi aplicada análise de componentes principais (PCA).

Os resultados de macrofauna, por não corresponderem às premissas da ANOVA, foram submetidos ao modelo linear generalizado (GLM) e, após ajustados ao modelo, foram submetidos à análise de variância com comparação de médias pelo teste de Tukey 5% de probabilidade.

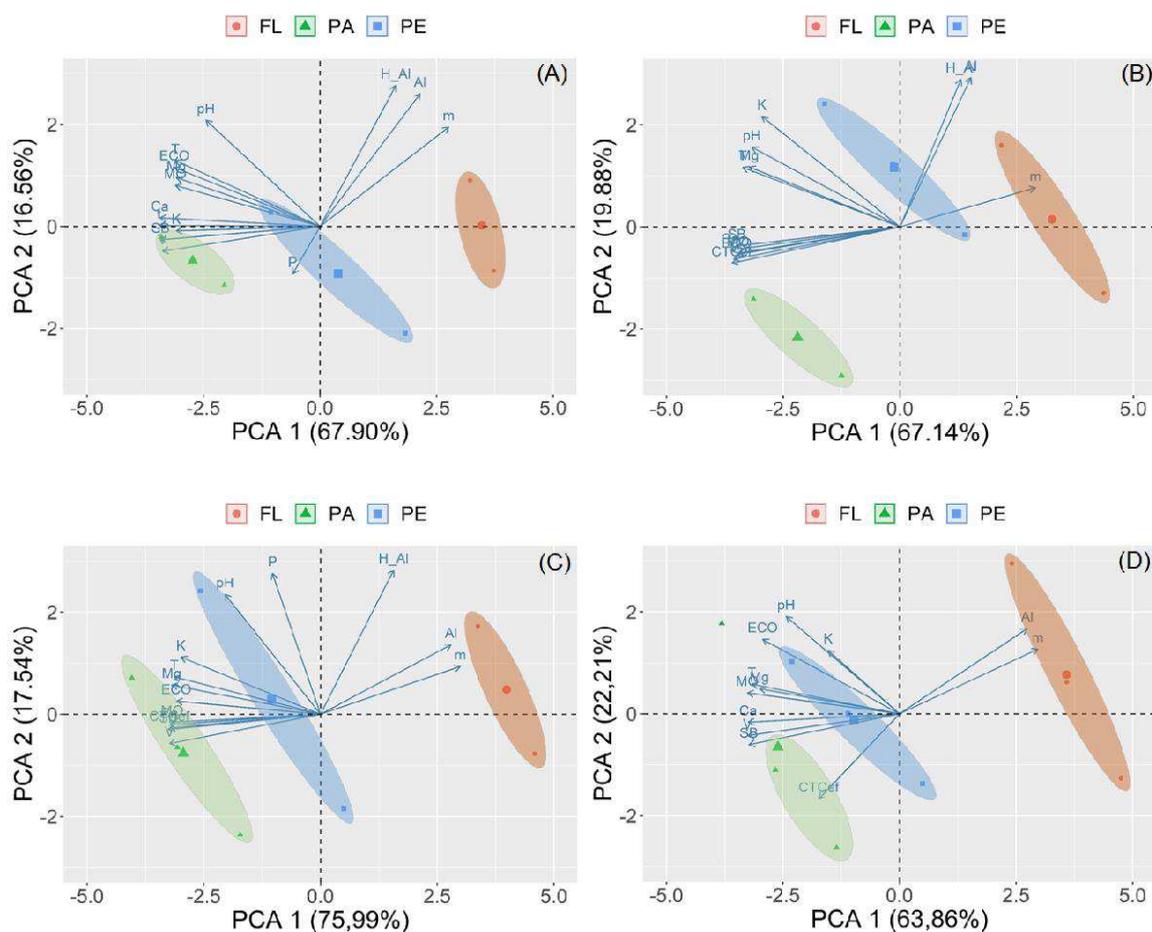
## **RESULTADOS**

A ACP dos atributos químicos na camada de 0-5 cm de profundidade explicou 84,46% (PC1+PC2) da variância do conjunto de dados (Figura 2A). O uso do solo na área de FL apresentou uma forte correlação positiva com os indicadores da acidez do solo H+Al, m e Al trocável e negativa com os demais atributos, enquanto as áreas de PA e PE apresentaram elevada correlação positiva com K, Ca, Mg, t, T, SB, V, P, MO e ECO.

A ACP para a profundidade de 5-10 cm explicou 87,02% (PC1+PC2) da variância do conjunto de dados (Figura 2B), e apresentou correlações entre variáveis e tratamentos semelhantes aos observados na profundidade 0-5 cm. A ACP para 10-20 cm e 20-30 cm de profundidade explicaram, respectivamente, 93,53% (PC1+PC2) e 86,07% (PC1+PC2)

(Figura 2C e 2D) das variâncias dos conjuntos de dados. Estes resultados evidenciaram correlação positiva e negativa semelhantes para todas as profundidades.

**Figura 2.** Análise de Componentes Principais (ACP) dos atributos químicos matéria orgânica (MO), potencial hidrogeniônico (pH), fósforo disponível (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al) trocáveis, acidez potencial (H+Al), saturação por alumínio (m), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions efetiva (t), capacidade de troca de cátions a pH 7 (T), saturação por bases (V) e estoque de carbono orgânico (ECO) em amostras de solo coletadas em área de pastagem abandonada (PA), pastagem extensiva (PE) e floresta (FL) nas profundidades entre 0-5 cm (A), 5-10 cm (B), 10-20 cm (C) e 20-30 cm (D).



Não houve interação significativa entre os usos do solo e profundidades para as variáveis pH e H+Al. No entanto, houve efeito isolado sobre a acidez potencial, pois o uso do solo FL apresentou o maior valor médio de H+Al comparado às áreas de PA e PE, sem diferença entre as profundidades. Os valores médios de pH foram semelhantes entre as áreas avaliadas e entre as profundidades (Tabela 1).

**Tabela 1.** Valores médios de acidez potencial (H+Al) e potencial hidrogeniônico (pH) em amostras de solo coletadas em área de pastagem abandonada (PA), pastagem extensiva (PE) e floresta (FL) nas profundidades entre 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm.

Fator	H+Al		pH (CaCl <sub>2</sub> )
	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		
Usos do Solo	PA	3,89 b	5,17 <sup>ns</sup>
	PE	4,69 b	5,07 <sup>ns</sup>
	FL	5,57 a	4,55 <sup>ns</sup>
Profundidade (cm)	0-5	4,90 <sup>ns</sup>	5,21 <sup>ns</sup>
	5-10	4,93 <sup>ns</sup>	5,12 <sup>ns</sup>
	10-20	4,51 <sup>ns</sup>	4,94 <sup>ns</sup>
	20-30	4,86 <sup>ns</sup>	4,91 <sup>ns</sup>
	CV (%)	19,22	19,81

\*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \*\*Médias seguidas por<sup>ns</sup> não diferem entre si pelo teste ANOVA a 5% de probabilidade.

Os atributos químicos Al e m apresentaram interação significativa entre usos do solo e profundidades (Tabela 2). A área de FL apresentou os maiores valores de Al e m comparada às áreas de PE e PA, em todas as profundidades. Os teores de Al trocável variaram entre 0,30 e 0,55 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, com aumento significativo em profundidade, atingindo valor de saturação por Al de 30,90% na camada de 20-30 cm. Na área PA, os valores de Al trocável foram zero em todas as profundidades.

**Tabela 2.** Valores médios de alumínio trocável (Al) e saturação por alumínio (m) em amostras de solo coletadas em área de pastagem abandonada (PA), pastagem extensiva (PE) e floresta (FL) nas profundidades entre 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm.

Profundidade (cm)	Usos do Solo			Usos do Solo		
	PA	PE	FL	PA	PE	FL
	Al			m		
	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			%		
0-5	0,00 aB	0,05 aB	0,30 bA	0,00 aB	0,86 aB	6,99 cA
5-10	0,00 aB	0,0 aA	0,31 bA	0,00 aB	0,91 aB	9,04 cA
10-20	0,00 aB	0,05 aB	0,47 abA	0,00 aB	0,95 aB	22,15 bA
20-30	0,00 aB	0,05 aB	0,55 aA	0,00 aB	1,17 aB	30,90 aA
CV (%)	51,65			17,06		

\*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Houve interação significativa entre usos do solo e profundidades para MO e P disponível (Tabela 3). Os teores de MO diminuíram em profundidade em todas as áreas avaliadas. O uso da terra com PA apresentou as maiores médias de MO em relação aos demais, 51,00 e 41,66 g dm<sup>-3</sup> em 0-5 cm e 5-10 cm, respectivamente.

As áreas de PE e FL apresentaram valores médios de MO semelhantes na maioria das camadas avaliadas, que variaram entre 31,27 e 21,23 g dm<sup>-3</sup> na área de PE e 32,57 e 17,00 na área de FL g dm<sup>-3</sup> (Tabela 3).

**Tabela 3.** Valores médios de teor de matéria orgânica (MO) e fósforo disponível (P) em amostras de solo coletadas em área de pastagem abandonada (PA), pastagem extensiva (PE) e floresta (FL), nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm.

Profundidade (cm)	Usos do Solo			Usos do Solo		
	PA	PE	FL	PA	PE	FL
	MO			P		
	g dm <sup>-3</sup>			mg dm <sup>-3</sup>		
0-5	51,00 Aa	31,27 aB	32,57 aB	1,40 aB	3,11 aA	1,04 aB
5-10	41,66 Ba	27,27 abB	23,40 bB	0,90 aB	1,55 bA	0,87 aB
10-20	32,40 Ca	26,23 abA	19,13 bB	0,90 aA	1,34 bA	0,94 aA
20-30	22,63 Da	21,23 bA	17,00 bA	0,90 aA	0,97 bA	0,93 aA
CV (%)	11,9			25,55		

\*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A área de PE apresentou os maiores valores de P em comparação aos demais usos do solo nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, 3,11 e 1,55 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente (Tabela 3). Nas camadas de 10-20 e 20-30 cm, todos os usos do solo foram semelhantes. Não houve diferença estatística entre profundidades dentro dos tratamentos PA e FL.

Em todos os usos do solo, o ECO diminuiu em profundidade, onde os maiores valores foram verificados próximos a camada superficial. A área de PA apresentou os maiores valores de ECO até a camada de 20 cm, em relação aos demais usos do solo, e atingiu o estoque estimado em 46,80 Mg C ha<sup>-1</sup> até 30 cm de profundidade. As áreas de PE e FL apresentaram valores estatisticamente semelhantes entre si, com estoque estimado de, respectivamente, 33,40 e 29,00 Mg C ha<sup>-1</sup> (Tabela 4).

**Tabela 4.** Valores médios de estoque de carbono orgânico no solo (ECO) em amostras de solo coletadas em área de pastagem abandonada (PA), pastagem extensiva (PE) e floresta (FL), nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm.

Fator Profundidade (cm)	Usos do Solo		
	PA	PE	FL
	ECO		
	Mg C ha <sup>-1</sup>		
0-5	16,07 aA	9,86 aB	10,26 aB
5-10	13,10 abA	8,60 aB	7,40 abB
10-20	10,53 bA	8,25 aAB	6,02 bB
20-30	7,12 cA	6,69 bA	5,35 bA
Total	46,80	33,40	29,00
CV (%)	14,88		

\* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Não houve interação significativa entre usos do solo e profundidades para K, Ca, Mg, t, T, SB e V, porém houve efeitos isolados para algumas variáveis (Tabela 5). A área de PA apresentou os maiores valores de K (0,26 cmmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), Ca (5,33 cmmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), Mg (1,93 cmmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), t (7,12 cmmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), T (11,56 cmmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), SB (7,56 cmmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e V

(65,85%). Enquanto a área de FL apresentou os menores valores de K (0,09 cmmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), Ca (1,42 cmmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), Mg (0,89 cmmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), t (2,83 cmmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), T (8,19 cmmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), SB (2,41 cmmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e V (28,47%). Todas as variáveis, com exceção ao Mg, diminuíram em profundidade.

**Tabela 5.** Valores médios de potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) trocáveis, soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions efetiva (t), capacidade de troca de cátions a pH 7 (T) e saturação por bases (V) em amostras de solo coletadas em área de pastagem abandonada (PA), pastagem extensiva (PE) e floresta (FL), nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm.

Fator		K <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	t	T	SB	V
		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>						%
Usos do Solo	PA	0,26 a	5,33 a	1,93 a	7,12 a	11,56 a	7,56 a	65,85 a
	PE	0,28 a	3,34 b	1,45 b	5,22 b	9,89 b	5,16 b	52,24 b
	FL	0,09 b	1,42 c	0,89 c	2,83 c	8,19 c	2,41 c	28,47 c
Profundidade (cm)	0-5	0,33 a	4,30 a	1,71 <sup>ns</sup>	6,54 a	11,32 a	6,42 a	54,97 a
	5-10	0,19 b	3,55ab	1,29 <sup>ns</sup>	5,42 ab	10,20 ab	5,30 b	50,88 ab
	10-20	0,19 b	3,07 bc	1,21 <sup>ns</sup>	4,78 bc	9,49 b	4,63 bc	46,01 bc
	20-30	0,13 b	2,58 c	1,47 <sup>ns</sup>	3,49 c	8,46 b	3,96 c	43,54 c
	CV (%)	48,52	20,32	32,00	22,07	14,01	14,73	10,35

\*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \*\*Médias seguidas por <sup>ns</sup> não diferem entre si pelo teste ANOVA a 5% de probabilidade.

Não houve interação significativa entre os usos do solo e profundidades para as variáveis PR, DS, UMV e UMM, porém houve diferença para os fatores analisados isoladamente (Tabela 6). A área de PA apresentou maior porosidade total e umidade em relação aos usos do solo PE e FL. Já para DS, a área de PA apresentou valor médio de 1,26 g cm<sup>-3</sup>, estatisticamente inferior à FL (1,39 g cm<sup>-3</sup>) e à PE, que apresentou o maior valor entre todas as áreas, 1,68 g cm<sup>-3</sup>. Os valores de PR, DS e UMV diminuíram com a profundidade do perfil.

**Tabela 6.** Valores médios de porosidade total (PR), densidade do solo (DS), umidade com base em volume (UMV) e umidade com base em massa (UMM) em amostras de solo coletadas em área de pastagem abandonada (PA), pastagem extensiva (PE) e floresta (FL), nas profundidades de 0-5, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm.

Fator		PR	DS	UMV	UMM
		%	g cm <sup>-3</sup>	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	g g <sup>-1</sup>
Usos do Solo	PA	23,77 a	1,26 c	0,23 a	0,20 a
	PE	18,08 b	1,68 a	0,18 b	0,11 b
	FL	16,07 b	1,39 b	0,17 b	0,12 b
Profundidade (cm)	0-5	19,52 ab	1,51 a	0,20 a	0,13 <sup>ns</sup>
	5-10	19,92 a	1,49 a	0,20 a	0,14 <sup>ns</sup>
	10-20	21,1 4a	1,43 ab	0,21 a	0,15 <sup>ns</sup>
	20-30	17,18 b	1,33 b	0,16 b	0,14 <sup>ns</sup>
CV (%)		20,63	16,21	20,31	27,01

\*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \*\*Médias seguidas por <sup>ns</sup> não diferem entre si pelo teste ANOVA a 5% de probabilidade.

A velocidade básica de infiltração (Vib) não foi estatisticamente diferente entre os usos do solo, embora a Vib na área de FL, que infiltrou 327 mm h<sup>-1</sup>, tenha sido cerca de 71% superior á área de PA, que infiltrou 92 mm h<sup>-1</sup> (Tabela 7).

**Tabela 7.** Valores médios de velocidade básica de infiltração (Vib) em áreas de pastagem abandonada (PA), pastagem extensiva (PE) e floresta (FL).

	Usos do Solo		
	PA	PE	FL
	Vib		
	mm h <sup>-1</sup>		
	92 <sup>ns</sup>	264 <sup>ns</sup>	327 <sup>ns</sup>
CV (%)	43,48	73,15	409,

\*Médias seguidas por <sup>ns</sup> não diferem entre si pelo teste ANOVA a 5% de probabilidade,

Em relação à serrapilheira depositada na superfície do solo, os valores médios de massa fresca e massa seca não apresentaram diferença estatística entre as áreas avaliadas. No entanto, a estimativa da quantidade de resíduos vegetais (MF ou MS) depositados na superfície da área de FL foi 7,86 t ha<sup>-1</sup>, cerca de 50% maior do que na área de PA, que apresentou valor estimado em 3,95 t ha<sup>-1</sup> (Tabela 8).

**Tabela 8.** Valores médios de massa fresca (MF) e massa seca (MS) de serapilheira em pastagem abandonada (PA), pastagem extensiva (PE) e floresta (FL), amostradas em cinco pontos por uso de solo.

	Usos do Solo		
	PA	PE	FL
	MF		
	t ha <sup>-1</sup>		
	3,95 <sup>ns</sup>	5,95 <sup>ns</sup>	7,86 <sup>ns</sup>
CV (%)	39,21	46,29	64,05
	MS		
	t ha <sup>-1</sup>		
	3,32 <sup>ns</sup>	5,25 <sup>ns</sup>	6,63 <sup>ns</sup>
CV (%)	42,10	48,03	65,00

Médias seguidas por <sup>ns</sup> não diferem entre si pelo teste ANOVA a 5% de probabilidade

Ao avaliar a macrofauna edáfica nos diferentes usos do solo no Cerrado Maranhense, encontrou-se os grupos taxonômicos, identificados a nível de ordem: Haplotaxida (Classe Oligochaeta), Aranae, Coleoptera, Blattodea, Hymenoptera e Diptera (Tabela 9).

**Tabela 9.** Densidade, frequência e constância de ordens de macrofauna edáfica identificadas em amostras de solo coletadas na profundidade entre 0-20 cm, em áreas de pastagem abandonada (PA), pastagem extensiva (PE) e floresta (FL).

Ordens	Usos do Solo			Usos do Solo			Usos do Solo		
	PA	PE	FL	PA	PE	FL	PA	PE	FL
	Densidade ind m <sup>-2</sup>			Frequência %			Constância		
Haplotaxida	144 <sup>ns</sup>	352 <sup>ns</sup>	128 <sup>ns</sup>	12	73	4	w	w	w
Aranae	64 <sup>ns</sup>	32 <sup>ns</sup>	32 <sup>ns</sup>	5	9	1	w	y	y
Coleoptera	80 <sup>ns</sup>	-	144 <sup>ns</sup>	7	-	4	w	-	w
Blattodea	752 <sup>ns</sup>	-	310 <sup>ns</sup>	64	-	54	w	-	w
Hymenoptera	80 b	32b	1216 a	7	9	34	w	y	w
Diptera	64 <sup>ns</sup>	32 <sup>ns</sup>	96 <sup>ns</sup>	5	9	3	w	y	w

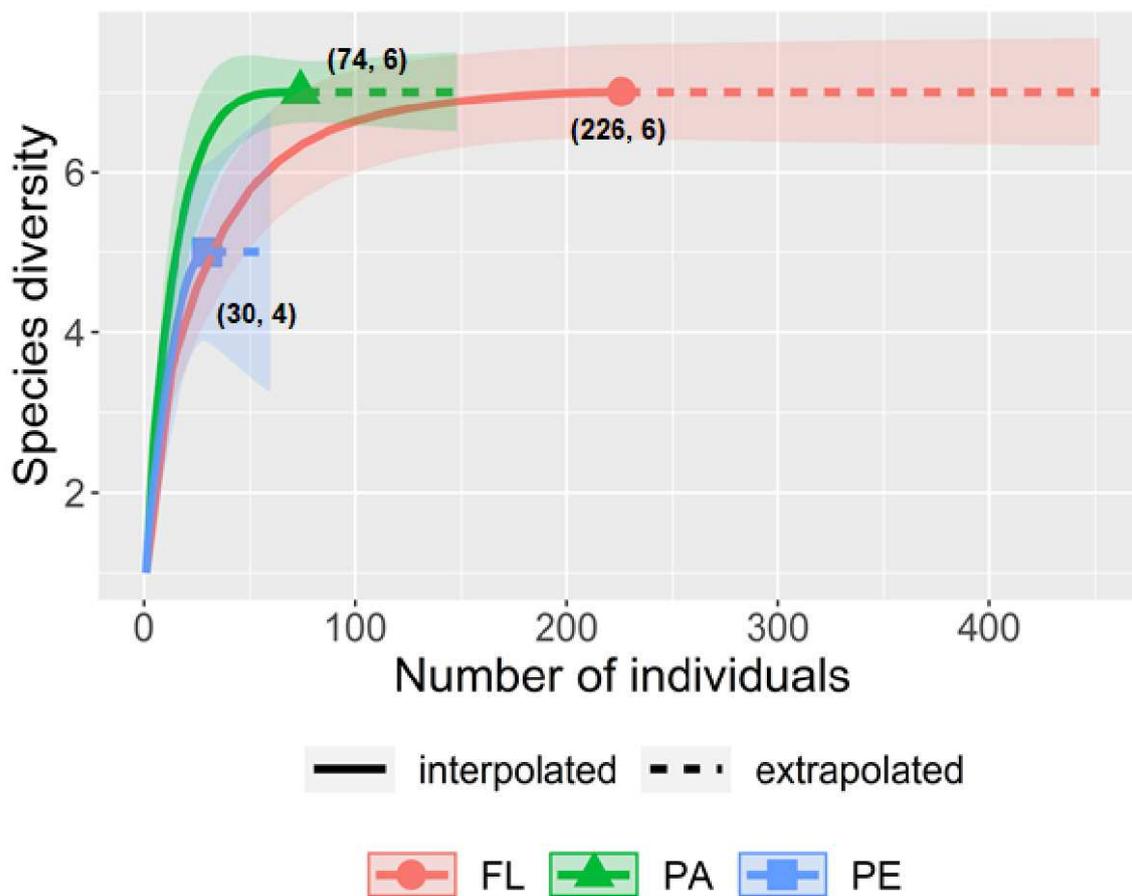
\*Valores seguidos por <sup>ns</sup> não diferem entre si pelo teste ANOVA a 5% de probabilidade. Na coluna de constância: w = constante, y = acessória, z = acidental.

Somente densidade (número de indivíduos por metro quadrado) da ordem Hymenoptera apresentou diferença estatística entre as áreas, sendo mais densa em FL e semelhante em PA e PE. Os indivíduos da ordem Blattodea foram os mais frequentes nas áreas PA e FL, já na área PE a ordem de maior frequência foi Haplotaxida.

Enquanto constância, todas as ordens foram classificadas como constantes para o uso do solo PA e FL, à exceção de Aranae, classificada como acessória, nesta última área. Em PE, Haplotaxida mostrou-se constante e Aranae, Hymenoptera e Diptera foram acessórias.

Na Figura 3 está disposta a riqueza de ordens por uso do solo, a qual foi semelhante nas três áreas avaliadas. É possível observar que a área FL apresentou a maior abundância de indivíduos, 67,26% a mais que na área de PA e 86,72% a mais que na área PE.

**Figura 3.** Riqueza de ordens da macrofauna edáfica identificada em amostras de solo coletado na profundidade entre 0-20 cm, em áreas de pastagem abandonada (PA), pastagem extensiva (PE) e floresta (FL).



## DISCUSSÃO

A elevada correlação positiva entre o uso do solo FL com os indicadores de acidez é atribuída às características inerentes à ordem dos Latossolos (Figura 2, Tabelas 1 e 2). Os Latossolos Vermelhos do bioma Cerrado, em geral, são solos ácidos, distróficos e alumínicos (Araújo et al., 2012; Ker, 2000; Oliveira; Jacomine; Camargo, 1992; Prado, 2016). Este fato pode ser explicado, dentre outros, aos processos de formação do solo, a exemplo da remoção dos cátions básicos da superfície dos colóides e acúmulo de íons hidrogênio e alumínio no complexo sortivo (Sano et al., 2019).

Na área de FL, por ser uma fitofisionomia nativa e devido ao aporte contínuo de matéria orgânica, estima-se que aproximadamente 90% da ciclagem dos nutrientes ocorre através da vegetação (Espig et al., 2009; Golley et al., 1978). Nesse sentido, para manter a eletro neutralidade da célula, as raízes excretam prótons, como contra-íons, para a absorção de cátions, o que promove a acidificação natural do solo. A matéria orgânica atua no tamponamento da acidez (ativa e potencial) do solo (Alves et al., 2021), devido à dissociação

de íons de H dos grupos funcionais, principalmente os carboxílicos e os ácidos fúlvicos, de menor peso molecular e, normalmente, solúveis (Braziene; Paltanavicius; Avizienytė, 2021; Qin et al., 2016).

Na área de FL, o aumento da acidez trocável e saturação por alumínio em profundidade (Tabela 2) pode estar relacionado com o fato de os Latossolos apresentarem a relação entre o extrato alcalino e a humina, frações da matéria orgânica, decrescentes ao longo do perfil. Os ácidos húmicos e a humina são compostos que podem adsorver o  $Al^{+3}$ , principalmente quando presentes em maior quantidade no meio, porém em menor quantidade, o  $Al^{+3}$  é observado em elevadas concentrações na solução do solo (Caron; Graças; Castro, 2015; Valladares et al., 2003). Estas afirmações corroboram com os resultados observados na área de FL, pois os teores de MO diminuíram em profundidade (Tabela 3).

A interferência antrópica, através das operações de calagem, pode justificar a correlação fortemente negativa entre os indicadores de acidez (H+Al, Al trocável e m) e os usos do solo PA e PE (Figura 2). Devido aos efeitos da calagem, a área de PA apresentou valor de pH em solução de  $CaCl_2$  5,17 e valor zero para Al trocável e saturação por Al, similar à área de PE, valor de pH 5,07 e valores de Al trocável próximos à zero (Tabela 1 e 2).

A utilização do calcário é necessária em solos que apresentam elevada concentração de íon hidrogênio e Al trocáveis, geralmente associadas a valores de pH menores que 5,0, e baixos teores de Ca e Mg (MIOTTO et al., 2020). A molécula de carbonato de cálcio e magnésio ( $MgCaCO_3$ ), presente na composição do calcário dolomítico, tem capacidade de neutralizar a acidez ativa, através da reação com o  $H^+$ , e a acidez trocável pela neutralização do  $Al^{+3}$  na forma de hidróxido (Bakaiyang et al., 2021; Singh Randhawa; Chauhan, 2021).

A aplicação de calcário promove a correção da acidez na camada em que foi incorporado (Rheinheimer et al., 2018). A velocidade que o calcário, e os subprodutos da sua solubilização, reage no solo depende da dose e do poder relativo de neutralização total, da acidez ativa e potencial, do teor de matéria orgânica, da textura e estrutura do solo (Moreira; Kumar Fageria, 2010).

Os resultados obtidos para Al trocável, H+Al e m foram similares aos encontrados por Freitas et al. (2017). Ao comparar características químicas entre áreas de floresta nativa, área reflorestada e pastagem implantadas no Cerrado, os autores observaram que a área de floresta nativa apresentou os maiores teores dos atributos relacionados à acidez do solo. Os

resultados obtidos por Neto et al. (2018), ao comparar área de pastagem, floresta secundária e povoamentos florestais homogêneos, corroboraram com Freitas (2020), onde o solo da área de floresta secundária apresentou os maiores valores para os indicadores relacionados à acidez.

Os valores de MO e ECO foram superiores na área de PA, quando comparado a PE e FL, e positivamente correlacionado aos usos do solo PA e PE (Figura 2, Tabela 3 e 4). O resultado pode estar relacionado com o desenvolvimento não interrompido dos remanescentes da pastagem abandonada, associado ao aporte de resíduos animais e vegetais depositados em superfície do solo (0-5 cm e de 5-10 cm).

As plantas que apresentam a via C4 de fotossíntese, como as gramíneas pertencentes da família *Poaceae*, incluindo a braquiária e o capim andropogon (Souza et al., 2005; Watcharamongkol; Christin; Osborne, 2018), além da elevada eficiência fotossintética com grande acúmulo de biomassa ( $40 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  a  $45 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), também possuem elevada capacidade de rebrota, retranslocação de nutrientes das raízes no final do ciclo vegetativo e de otimização do uso da água do solo (Samson et al., 2005).

Outras características atribuídas ao ciclo C4 são as baixas taxas de fotorrespiração, o baixo ponto de compensação de  $\text{CO}_2$ , a alta faixa de temperatura ideal para que ocorra a fotossíntese e o alto ponto de saturação luminosa. Isso faz com que essas plantas sejam mais bem adaptadas em ambientes áridos e dominem as savanas tropicais de todo o mundo (Chichuala; Steinaker; Demaria, 2018). Portanto, a interação entre as raízes e a decomposição de folhas, e demais estruturas vegetais, favorecem a ciclagem dos nutrientes nas camadas superiores do solo, que decresce em profundidade. O que não acontece em FL, pois a vegetação nativa do Cerrado apresenta elevada heterogeneidade de espécies, modificando-se ao longo das estações.

De acordo com Carneiro et al. (2009), as gramíneas tropicais perenes, componentes das pastagens, possuem sistema radicular abundante e elevada rizodeposição, com distribuição uniforme de exsudatos na rizosfera. Esta característica favorece a manutenção do teor de MO e é diretamente influenciada pelo tipo de uso do solo (Lal, 2015).

A semelhança estatística entre PE e FL, até 10 cm de profundidade, pode ser explicada pelo histórico do manejo de uso de fogo e agricultura na área. A prática da queimada auxilia na disponibilidade de nutrientes na superfície do solo, em forma de cinzas (Pomianoski; Dedecek; Vilcahuaman, 2006; Rheinheimer et al., 2003). Porém, queimadas frequentes reduzem a manutenção e a renovação das árvores e arbustos, causam

perdas de nutrientes acumulados na biomassa da vegetação e diminuição na matéria orgânica, conseqüentemente, desequilíbrio ao meio ambiente (Silva et al., 2011; Soares et al., 2019; Spera et al., 2000).

Aliado a isso, as recentes operações mecanizadas na área promoveram a oxidação da MO nas camadas mais próxima à superfície. Os resíduos da soja, por apresentarem relação C:N baixa, em torno de 6,42 (Filho, 2016), sob as condições de alta temperatura e umidade característicos desse período do ano, tem a sua decomposição acelerada. No entanto, a presença da biomassa subterrânea das gramíneas que rebrotaram até 2020 contribuíram para o aporte de MO em PE, semelhante à FL.

A diminuição nos teores de MO em profundidade é devido ao menor volume da biomassa subterrânea ao longo do perfil do solo. O sistema radicular das gramíneas, embora abundante, tem o maior volume concentrado até 10 cm. Resultados semelhantes também foram observados por Silva, Silva e Melo (2006), em áreas de pastagem abandonada em comparação com fragmentos florestais na Amazônia, e por Da Rocha et al. (2016), em área de pastagem abandonada em comparação a uma floresta sucessional em suas condições edáficas naturais.

O carbono representa cerca de 58% da composição da matéria orgânica do solo (Costa et al., 2008), o que explica os resultados de ECO semelhantes aos verificados para os teores de MO, em relação aos usos do solo e profundidade (Figura 2, Tabela 4). Há, nas últimas décadas, um crescente interesse nos efeitos do manejo do solo sobre os estoques de carbono orgânico, porque o aumento dos estoques de carbono orgânico em solos agrícolas pode contribuir, significativamente, para minimizar as mudanças climáticas (Lal, 2015; IPCC, 2014).

Os diferentes usos e manejo do solo são responsáveis pela entrada de carbono no sistema, bem como pela sua saída para atmosfera. Nos sistemas agrícolas, essa entrada/saída de carbono é muito influenciada pelo preparo do solo, espécies utilizadas, aplicação de corretivos e fertilizantes e, principalmente, pelo manejo dos resíduos das culturas (Cosser et al., 2016).

As operações de calagem, a ausência de manejo da pastagem na área de PA, a produção de biomassa aérea e subterrânea das gramíneas perenes tropicais, aliado à sua eficiência em alocar maior fração de carbono orgânico no solo (Lovato et al., 2004), contribuíram para os maiores valores de ECO na área de PA.

O gradiente decrescente da MO e de ECO na área FL pode ser devido ao fato que, em ambientes não antropizados, o solo apresenta um conteúdo de carbono orgânico estabilizado, que reflete as condições ambientais determinadas pelo clima, vegetação, topografia e características do solo (Braidá et al., 2014). De Freitas et al. (2018), avaliaram o estoque de carbono em um Latossolo sob mata nativa, área reflorestada e área cultivada com cana de açúcar, e constataram que os teores de MO e ECO, de forma semelhantes aos aqui apresentados, decresceram ao longo do perfil.

Os maiores teores de P disponível na camada entre 0 e 10 cm na área de PE, comparado às áreas de PA e FL, é atribuído à aplicação do fertilizante fosfatado por ocasião do plantio da soja em 2020 (Zhao; Li; Yang, 2021) (Tabela 3). Nesta área, os teores diminuíram em profundidade, pois o mecanismo de transporte por difusão faz com que a movimentação de P no solo, especialmente em solos tropicais muito intemperizados, seja baixa (Watson; Matthews, 2008; Huang et al., 2017).

O solo das áreas avaliadas trata-se de um Latossolo Vermelho, de textura argilosa e com predominância de caulinita e óxidos de ferro e alumínio na fração argilomineral. Em geral, os solos intemperados do Cerrado Brasileiro são caracterizados pela baixa disponibilidade de P em formas assimiláveis pelas plantas. Esta condição é devido à presença de óxidos de Fe e Al, e íons de Al trocável em altas concentrações (Wang et al., 2012).

As variáveis químicas Ca, Mg, K, V, SB, T e t foram positivamente correlacionadas às áreas antropizadas, PA e PE, pois na área de PE foram adicionados fertilizantes minerais por ocasião do plantio da soja em 2020. Este comportamento pode ser atribuído também à proliferação de espécies espontâneas nativas na área de PA, bem como à braquiária, planta de metabolismo C4. A cobertura do solo pela biomassa aérea, além da biomassa subterrânea, refletiu nos maiores teores de MO (Tabela 3), promoveram os maiores valores de capacidade de troca de cátions e ciclagem de nutrientes (Tabela 5).

Entre os efeitos da biomassa superficial e subterrânea sobre a fertilidade do solo são a adição de matéria orgânica, maior capacidade de troca de cátions, devido ao aumento da densidade de cargas negativas variáveis, aumento do fósforo disponível e à complexação orgânica do alumínio (Ferreira; Souza; Chaves, 2012). Por esta razão, a restauração natural de vegetações nativas tem sido recomendada e praticada nas últimas décadas (Wertebach et al., 2017). Esse método gera um impacto crucial na melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Werner; Sanderman; Melillo, 2020).

Os maiores teores de MO na área de PA refletiram no menor valor de DS e maior PR, UMM e UMV em relação aos demais usos (Tabela 6). A porosidade total é diretamente afetada pela densidade, conteúdo de água e pelo teor de matéria orgânica no solo. O aporte de matéria orgânica, associado a menor intensidade de revolvimento do solo, promove a redução da DS e, conseqüentemente, aumento da porosidade. Esse efeito melhora substancialmente a estrutura do solo (Filho; Libardi, 2005), desenvolvimento radicular e o armazenamento de água disponível (Araujo et al., 2004; Braida et al., 2014; Soares et al., 2019).

Os maiores valores de DS observados na área de PE podem estar relacionados ao tráfego contínuo de máquinas e implementos agrícolas. A compressão do solo, decorrente das operações mecanizadas, afeta os atributos físicos e, como consequência, ocorreu aumento na DS, redução da porosidade total e, influenciou negativamente a capacidade de retenção de água (Savioli et al., 2020)

De acordo com Kiehl (1979), a densidade do solo deve permanecer no intervalo entre 1,1 e 1,6 g cm<sup>-3</sup> em solos argilosos, e 1,6 g cm<sup>-3</sup> em solos arenosos. Junior (2017) apontou 1,55 g cm<sup>-3</sup> como valor crítico para DS em solos franco-argilosos e argilosos. O valor médio de DS na área de PE foi maior aos intervalos considerado crítico pelos autores, o que pode restringir o desenvolvimento do sistema radicular das plantas de interesse agrícola. Estes resultados reforçam a afirmação que o manejo mecanizado contínuo foi o principal agente do aumento de DS em PE. Fica evidente que a estrutura física do solo não depende apenas do tipo de vegetação cultivada, mas também da escolha adequada dos métodos de cultivo empregados.

Apesar de não haver diferença estatística entre os usos do solo para a Vib, todas as áreas atingiram valores altos (Vib > 30 mm h<sup>-1</sup>) (Tabela 7), de acordo com a classificação de Da Rocha et al. (2016). Bernardo et al. (2019), Bono et al. (2012), Cunha et al. (2015), Kamimura et al. (2009) e Souza e Alves (2003), estudando infiltração de água em solo sob diferentes manejos, encontraram resultados diferentes do apresentado nesse estudo, com Vib em vegetação nativa sobressaindo-se às áreas de cultivo.

Apesar de não determinado, infere-se que haja predominância de macroporos na área de FL, pois a Vib foi cerca de 71% superior a área de PA. Nesta última, os maiores valores de PR podem estar relacionados a uma maior proporção de microporos. Esta hipótese está baseada também no maior conteúdo de umidade na área sob PA (Tabela 6). Os microporos tem a capacidade de reter água no solo, devido a expressão das forças de tensão superficial

e, conseqüentemente, mais lenta é a infiltração de água no solo. Ressalta-se que, na área de FL foi verificado a maior riqueza de ordens de macrofauna, com destaque a maior densidade de Hymenoptera, associada à maior frequência da ordem Blattodea, que devido aos hábitos subterrâneos de construção de galerias, aumentam a macroporosidade.

A infiltração de água indica diferenças no comportamento hidrodinâmico do solo em função da alteração de sua estrutura. Considerando-se que a infiltração de água reflete as condições físicas do solo, como estrutura, porosidade e ausência de camadas compactadas, deduz-se que no solo estudado elas não sofreram modificações acentuadas.

A quantidade de serapilheira depositada na superfície, estatisticamente semelhante entre os usos do solo, pode estar associada ao momento da coleta dentro do intervalo de regime hídrico, aliado à fisiologia da vegetação observada nas áreas. A quantidade de serapilheira varia em função do material de origem do solo, da espécie vegetal, do tipo de cobertura florestal, do estágio sucessional da floresta e da época de coleta (Vieira et al., 2021a, 2009, 2008). Adicionalmente, condições edafoclimáticas, regime hídrico, sítio, capacidade produtiva e tipo de material genético, idade, topografia, sub-bosque, tamanho de copa, bem como taxa de deposição e decomposição, distúrbios naturais como fogo e ataque de insetos, influenciam no estoque e na qualidade da serapilheira (Schumacher et al., 2013; Skorupa; Barros; Neves, 2015; Villa et al., 2016).

A coleta de serrapilheira foi realizada no final do período chuvoso, após intenso desenvolvimento aéreo e brotação da vegetação (Mantovani; Martins, 1998; Batalha; Mantovani, 2000; Oliveira; Gibbs, 2000). Porém, é durante o período seco no Cerrado, que a demanda evaporativa atmosférica e a incidência de radiação solar aumentam (Miranda et al., 1997; Franco, 1998) e afetam o controle estomático e a transpiração das plantas, o que propicia que a maioria das espécies apresentem elevada proporção de folhas senescentes (Borchert; Rivera; Hagnauer, 2002). Concomitante, a heterogeneidade no comportamento fisiológico de espécies presentes na FL, adaptadas ao bioma, podem ter comprometido o aporte de serapilheira, explicando a não probabilidade entre usos do solo.

Os resultados de macrofauna edáfica demonstraram que o único táxon que apresentou diferença estatística foi Hymenoptera, com densidade superior na área de FL, e semelhante em PA e PE. A ordem Hymenoptera desempenha um importante papel na manutenção e restauração dos solos, redistribuindo nutrientes e matéria orgânica e proporcionando a aeração do solo (Lavelle, 2001). A predominância dessa ordem na área sob FL pode estar relacionada à não perturbação do ecossistema por interferência antrópica. No decorrer do

processo de regeneração florestal (vegetação secundária), fauna e flora originais gradualmente se recuperam, em particular as famílias que compõem Hymenoptera, em uma velocidade maior do que para as comunidades de plantas (Lima et al., 2010).

Pereira et al. (2007) verificaram maior riqueza e composição de formigas encontradas em galhos na serapilheira em florestas nativas, devido a maior heterogeneidade e disponibilidade de recursos presentes, comparando com áreas de pastagem e plantio de eucalipto. Porém, a ordem de maior frequência em FL, assim como PA, foi Blattodea. A fauna que compõe essa ordem, no Cerrado, é distinta daquela encontrada em florestas úmidas, com uma larga proporção de espécies que se alimentam de material orgânico na superfície e subsuperfície, incluindo os grupos: *Syntermes*, *Velocitermes*, *Ruptitermes*, *Rhynchotermes*, *Cornitermes* e *Nasutitermes* (Constantino, 2015).

A porção do solo e do ecossistema que sofre o impacto dos cupins é chamado de termitosfera, que possui características como a textura do solo e conteúdo de matéria orgânica distintos do que quando comparado ao solo adjacente (Lavelle, 2014). A ação dos cupins no solo do cerrado pode estar relacionada ao aumento do valor do pH, da concentração de cálcio, de fósforo, de potássio e a diminuição da saturação por alumínio (Fageria; Baligar, 2005). Dessa forma, os resultados de frequência da macrofauna, podem estar associados à manutenção do solo em FL e aos resultados de MO apresentados em PA.

Para o uso do solo PE, a ordem de maior frequência e densidade foi Haplotaxida. Esse resultado difere de Marques et al. (2014), que avaliaram a densidade e frequência de macrofauna, no período seco e chuvoso, em Cerradão comparado a plantio direto, ILPF e pastagem, onde pastagem apresentou os menores índices para a ordem Haplotaxida. A diferença dos resultados apresentados e os observados na literatura, pode ser devido ao teor de umidade no solo no momento da coleta, característica da qual a ocorrência desse grupo é dependente, além de outros fatores do solo, como temperatura, teor de matéria orgânica, fertilidade e pH indicando que o tipo de manejo utilizado reflete diretamente na dinâmica da fauna edáfica de uma área (Araujo et al., 2018; Jänsch; Römbke; Didden, 2005; Pelosi et al., 2020; Van Vliet; Coleman; Hendrix, 1997).

A curva de riqueza de ordens não alcançou a assíntota (Figura 3) para nenhum dos usos do solo, sugerindo que a continuidade da amostragem iria acrescentar dados para cada área avaliada. Entretanto, a área hachurada (que representa o intervalo de confiança a 95%) e a linha pontilhada (com amostragem extrapolada), são menores em PE, intermediárias em

PA e contínuas em FL, o que sugere que a vegetação natural apresenta maior amplitude sobre a quantidade de indivíduos que os demais manejos.

Diferentes sistemas de manejo levam a mudanças nas propriedades físicas do solo afetando a composição e distribuição da biota. Assim, mudanças nas propriedades físicas e químicas do solo podem desencadear alterações na composição da macrofauna edáfica. Esse comportamento foi confirmado por outros autores em análises das relações das propriedades químicas, físicas e propriedades biológicas do solo (Baretta; Baretta; Cardoso, 2008; Mickaël et al., 2015; Pereira et al., 2013).

## CONCLUSÕES

Os usos do solo com pastagem, seja abandonada ou extensiva com histórico de agricultura, apresentaram os maiores valores para os indicadores da fertilidade do solo, devido á calagem, fertilização e deposição de resíduos orgânicos animais e vegetais na superfície. Nestes usos do solo, a presença das gramíneas tropicais perenes proporcionou aporte de matéria orgânica e aumento dos estoques de carbono orgânico do solo, igualando-se, e no caso da área de pastagem abandonada superando, os observados na área de floresta nativa do bioma Cerrado Maranhense. Porém, a conversão da vegetação nativa em pastagem diminuiu a riqueza de ordens de macrofauna edáfica. Os aportes de matéria orgânica pela biomassa subterrânea e aérea das gramíneas, em adição a ausência de mecanização e a restauração natural da vegetação, refletiram no aumento da porosidade e redução da densidade do solo na área de pastagem abandonada. Na área de pastagem extensiva com histórico de agricultura, a matéria orgânica oxidada pelo uso intensivo de mecanização e as práticas de queima foi recuperada pela rebrota do remanescente de gramíneas e os resíduos da cultura da soja, pois os resultados apontaram semelhança com a área de referência. Portanto, a conversão da floresta em pastagens alterou os atributos do solo, com o aporte de matéria orgânica como principal fator de influência na restauração do solo nas áreas antropizadas.

## REFERÊNCIAS

ALENCAR, A. et al. Mapping three decades of changes in the brazilian savanna native vegetation using landsat data processed in the google earth engine platform. **Remote Sensing**, v. 12, n. 6, 1 mar. 2020.

ALMEIDA, E. J.; LUIZÃO, F.; RODRIGUES, D. J. Produção de serrapilheira em florestas intactas e exploradas seletivamente no sul da Amazônia em função da área basal da vegetação e da densidade de plantas. **Acta Amazonica**, v. 45, n. 2, p. 157–166, 2015.

- ALVES, L. A. et al. Soil chemical properties and crop response to gypsum and limestone on a coarse-textured Ultisol under no-till in the Brazilian Pampa biome. **Geoderma Regional**, v. 25, 1 jun. 2021.
- ARAUJO, A. S. F. et al. Protist species richness and soil microbiome complexity increase towards climax vegetation in the Brazilian Cerrado. **Communications Biology**, v. 1, n. 1, p. 135, 6 dez. 2018.
- ARAÚJO, E. A. et al. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 5, n. 1, p. 187–206, 30 abr. 2012.
- ARAUJO, M. A. et al. Propriedades Físicas de Um Latossolo Vermelho Distrófico Cultivado e Sob Mata Nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:337-345. 2004.
- BAKAIYANG, L. et al. Re-use in road construction of a Karal-type clay-rich soil from North Cameroon after a lime/cement mixed treatment using two different limes. **Case Studies in Construction Materials**, v. 15, 1 dez. 2021.
- BARETTA, D.; BARETTA, C. R. D. M.; CARDOSO, E. J. B. N. Análise multivariada de atributos microbiológicos e químicos do solo em florestas com *Araucaria angustifolia*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. spe, p. 2683–2691, dez. 2008.
- BARROS, P. H. B. DE; 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 (RBERU)**, v. 13, n. 2, p. 161–182, 12 mar. 2019.
- BATALHA, M. A.; MANTOVANI, W. Reproductive Phenological Patterns Of Cerrado Plant Species At The Pé-De-Gigante Reserve (Santa Rita Do Passa Quatro, Sp, Brazil): A Comparison Between The Herbaceous And Woody Floras. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 60, n. 1, p. 129–145, 2000.
- BERNARDO, S. et al. **Manual de Irrigação**. 9 ed. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2019.
- BOLFE, É. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, S. K. **Dinâmica Agrícola No Cerrado Análises e Projeções**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. v. v. 1
- BONO, J. A. M. et al. Infiltração de água no solo em um latossolo vermelho da região sudoeste dos cerrados com diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1845–1853, dez. 2012.
- BORCHERT, R.; RIVERA, G.; HAGNAUER, W. Modification of Vegetative Phenology in a Tropical Semi-deciduous Forest by Abnormal Drought and Rain1. **Biotropica**, v. 34, n. 1, p. 27–39, mar. 2002.
- BRAIDA, J. A. et al. Resíduos Vegetais Na Superfície E Carbono Orgânico Do Solo E Suas Relações. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p. 605–614, 2014.

BRANDÃO, V. DOS S. **Infiltração De Água Em Solos Sujeitos A Encrostamento**. Viçosa, MG: 2006.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Mapeamento do Uso e Cobertura do Cerrado: Projeto TerraClass Cerrado 2013**. Brasília, DF: MMA, 2015.

BRAZIENE, Z.; PALTANAVICIUS, V.; AVIZIENYTĖ, D. The influence of fulvic acid on spring cereals and sugar beets seed germination and plant productivity. **Environmental Research**, v. 195, 1 abr. 2021.

CARNEIRO, M. A. C. et al. Atributos Físicos, Químicos E Biológicos De Solo De Cerrado Sob Diferentes Sistemas De Uso E Manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 147–157, 2009.

CARON, V. C.; GRAÇAS, J. P.; CASTRO, P. R. DE C. **Condicionadores do solo: ácidos húmicos e fúlvicos**. Piracicaba, SP: ESALQ: Divisão de Biblioteca, 2015. v. v. 58

CARVALHO, J.L.N.; CERRI, C.E.P.; FEIGEL, B.J.; PICCOLO, M.C.; GODINHO, V.P.; CERRI, C.C. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazil Amazon. **Soil and Tillage Research**, v. 103, p.342-349, 2009

CHICAHUALA, M. S.; STEINAKER, D. F.; DEMARIA, M. R. Phenological responses of C3 and C4 grasses to annual changes in precipitation and temperature. **Ecologia Austral**, v. 28, n. 2, p. 455–466, 1 ago. 2018.

CONSTANTINO, R. **Cupins do Cerrado**. 1.ed. Rio de Janeiro: Technical Books, 167p. 2015.

COSER, T. R. et al. Soil microbiological properties and available nitrogen for corn in monoculture and intercropped with forage. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1660–1667, 2016.

COSTA, F. S. et al. Estoque De Carbono Orgânico No Solo E Emissões De Dióxido De Carbono Influenciadas Por Sistemas De Manejo No Sul Do Brasil (1). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 323–332, out. 2008.

CUNHA, J. L. X. L. et al. Water infiltration rate in yellow latosol under different soil management systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 11, p. 1021–1027, 1 nov. 2015.

DA ROCHA, J. E. C. et al. Matéria orgânica e qualidade físico-hídrica de um latossolo sob plantio de eucalipto e pastagem abandonada. **Cerne**, v. 22, n. 4, p. 381–388, 2016.

DE FREITAS, L. et al. Estoque de carbono de latossolos em sistemas de manejo natural e alterado. **Ciencia Florestal**, v. 28, n. 1, p. 228–239, 1 jan. 2018.

DIAS, L. J. B. DA S.; et al. **Zoneamento Ecológico-Econômico Do Maranhão (Zee-Ma) Etapa Bioma Cerrado E Sistema Costeiro**. 2 ed. ed. São Luís, MA: IMESC, 2021. v. 1

- DUARTE, L. M. G.; THEODORO, S. H. **Dilemas do Cerrado: entre o ecologicamente (in)correto e o socialmente (in)justo**. Rio de Janeiro, RJ: Garamond, 2002. v. v, 1
- ESPIG, S. A. et al. Sazonalidade, Composição E Aporte De Nutrientes Da Serapilheira Em Fragmento De Mata Atlântica. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.33, n.5, p.949-956, 2009
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Properties of Termite Mound Soils and Responses of Rice and Bean to Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Fertilization on such Soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 35(15-16), 2097–2109. 2005.
- FERREIRA, C. S. S.; PEREIRA, P.; KALANTARI, Z. Human impacts on soil. **Science of The Total Environment**, 644, 830–834, 2018.
- FERREIRA, L. E.; SOUZA, E. P. DE; CHAVES, A. F. Revisão de Literatura Adubação verde e seu efeito sobre os atributos do solo. **Revista Verde**, v. v, 7, n. n.1, p. 33–38, mar. 2012.
- FERREIRA, M. E. et al. Modeling landscape dynamics in the central Brazilian savanna biome: Future scenarios and perspectives for conservation. **Journal of Land Use Science**, v. 8, n. 4, p. 403–421, dez. 2013.
- FILHO, A. C.; COSTA, K. **The expansion of soybean production in the Cerrado**. São Paulo, SP: 2016. Disponível em: <[www.inputbrasil.org](http://www.inputbrasil.org)>. Acesso em: 14 dez. 2021
- FILHO, J. F. M.; LIBARDI, P. L. Estabilidade Temporal De Medidas Do Teor E Do Potencial Mátrico Da Água No Solo Em Uma Transeção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p. 497–506, maio 2005.
- FRANCO, A. C. Seasonal patterns of gas exchange, water relations and growth of *Roupala montana*, an evergreen savanna species. **Plant Ecology**, v. 136, p. 69, 1998.
- FREITAS, I. C. DE et al. Agrosilvopastoral Systems and Well-Managed Pastures Increase Soil Carbon Stocks in the Brazilian Cerrado. **Rangeland Ecology and Management**, v. 73, n. 6, p. 776–785, 1 nov. 2020.
- FREITAS, L. DE et al. Indicadores Da Qualidade Química E Física Do Solo Sob Diferentes Sistemas De Manejo. **Unimar Ciências** - ISSN 1415-1642, Marília/SP, V. 26, (1-2), pp. 08-25, 2017
- GOLLEY, F. B. et al. **Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida**. São Paulo, SP: Editora Pedagógica e Universitária, 1978. v. v, 1
- GOMES, L. et al. Using Geotechnology to Estimate Annual Soil Loss Rate in the Brazilian Cerrado. **Journal of Geographic Information System**, v. 09, n. 04, p. 420–439, 2017.
- HUANG, J. et al. Nitrogen and phosphorus losses and eutrophication potential associated with fertilizer application to cropland in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 159, p. 171–179, 15 ago. 2017.

IBGE. **Biomass Continentais do Brasil Amazônia**. Informativo Técnico. 2018. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 14 dez. 2021

INGRAM, J. S. I.; ANDERSON, J. M. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. CAB International, 1993.

IPCC. **Climate change 2014: mitigation of climate change: Working Group III contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>>. Acesso em: 14 dez. 2021.

JÄNSCH, S.; RÖMBKE, J.; DIDDEN, W. The use of enchytraeids in ecological soil classification and assessment concepts. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 62, n. 2, p. 266–277, out. 2005.

JÚNIOR, M.W. **Comportamento Mecânico do Solo em Operações Agrícolas**. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba – SP. 1 ed. 1-223, 2017.

KAMIMURA, K. M. et al. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho sob cultivo de arroz de terras altas em diferentes manejos do solo e água. **Bragantia**, v. 68, n. 3, p. 723–731, set. 2009.

KER, J. C. Latossolos Do Brasil: Uma Revisão. **Geonomos**, v. 5, n. 1, p. 17–40, 2000.

KIEHL, E. **Manual de Edafologia Relação Solo-Planta**. Editora Agronômica Ceres. São Paulo, SP. 1-262, 1979.

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

LAL, R. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. **Sustainability (Switzerland)**, v. 7, n. 5, p. 5875–5895, 2015.

LAVELLE, P. Invertebrate biodiversity as bioindicators of sustainable landscapes. **Plant Science**, 160(5), 1069–1070. 2001.

LAVELLE, P. et al. Soil ecosystem services and land use in the rapidly changing orinoco river basin of colombia. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 185, p. 106–117, 1 mar. 2014.

LIMA, S. S. DE et al. Relação entre macrofauna edáfica e atributos químicos do solo em diferentes agroecossistemas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 3, p. 322–331, mar. 2010.

LOVATO, T.; MIELNICZUCK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição De Carbono E Nitrogênio E Sua Relação Com Os Estoques No Solo E Com O Rendimento Do Milho Em Sistemas De Manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:175-187, 2004.

- MANTOVANI, W.; MARTINS, F. R. Variações fenológicas das espécies do cerrado da Reserva Biológica de Moji Guaçu, Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Botânica** v. 1, p. 101–112, 1998.
- MARANHÃO, R. L. A. et al. The Spatiotemporal Dynamics of Soybean and Cattle Production in Brazil. **Sustainability**, v. 11, n. 7, p. 2150, 11 abr. 2019.
- MARQUES, D. M. et al. Edaphic Macrofauna In Different Plant Covers. **Original Article Bioscience Journal**, v. v. 30, n. 5, p. 1588–1597, 2014.
- MICKAËL, H. et al. Orchard management influences both functional and taxonomic ground beetle (Coleoptera, Carabidae) diversity in South-East France. **Applied Soil Ecology**, v. 88, p. 26–31, 1 abr. 2015.
- MIOTTO, A. et al. Soil acidity and aluminum speciation affected by liming in the conversion of a natural pasture from the Brazilian Campos Biome into no-tillage system for grain production. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 66, n. 2, p. 138–151, 28 jan. 2020.
- MIRANDA, A. C. et al. Fluxes of carbon, water and energy over Brazilian cerrado: an analysis using eddy covariance and stable isotopes. **Plant, Cell and Environment**, v. 20, n. 3, p. 315–328, mar. 1997.
- MOREIRA, A.; KUMAR FAGERIA, N. Liming Influence On Soil Chemical Properties, Nutritional Status And Yield Of Alfalfa Grown In Acid Soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:1231-1239, 2010.
- NESPER, M. et al. Pasture degradation decreases organic P content of tropical soils due to soil structural decline. **Geoderma**, v. 257–258, p. 123–133, 2015.
- NETO, F. V. DA C. et al. Atributos químicos e físicos do solo em áreas sob diferentes coberturas florestais e pastagem em além paraíba - MG. **Ciencia Florestal**, v. 28, n. 1, p. 13–24, 1 jan. 2018.
- OLIVEIRA, J. B. DE; JACOMINE, P. K. T.; CAMARGO, M. N. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento**. [s.l.] UNESP/Funep, 1992.
- OLIVEIRA, P. E.; GIBBS, P. E. Reproductive biology of woody plants in a cerrado community of Central Brazil. **Flora**, v. 195, n. 4, p. 311–329, dez. 2000.
- PELOSI, C. et al. Soil Oligochaeta communities after 9 decades of continuous fertilization in a bare fallow experiment. **Soil Organisms**, v. v. 92, n. n. 2, p. 129–142, 2020.
- PEREIRA, J. DE M. et al. Relationships Between Microbial Activity And Soil Physical And Chemical Properties In Native And Reforested *Araucaria angustifolia* Forests In The State Of São Paulo, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 572–586, 2013.

- PEREIRA, M. P. S. et al. Influência da heterogeneidade da serapilheira sobre as formigas que nidificam em galhos mortos em floresta nativa e plantio de eucalipto. **Neotropical Biology and Conservation**, v. v. n, n. n.3, p. 161–164, 2007.
- PERON, A. J.; EVANGELISTA, A. R. Pasture degradation in savanna's regions. **Ciência e Agrotecnologia**, v. v. 28, n. n. 3, p. 655–661, maio 2004.
- PITTA, F. T.; VEGA, G. C. Impacts Of Agribusiness Expansion In The Matopiba Region: Communities And The Environment. **ActionAid** ed. Rio de Janeiro - RJ: Rede Social de Justiça e Direitos Humanos, 2017. v. 1
- POMIANOSKI, D. J. W.; DEDECEK, R. A.; VILCAHUAMAN, L. J. M. Efeito do Fogo nas Características Químicas e Biológicas do Solo no Sistema Agroflorestal da Bracatinga. **Boletim de Pesquisa Florestal**, p. 93–118, 2006.
- PRADO, H. DO. **Pedologia Fácil: aplicações em solos tropicais**. 5 ed. ed. Piracicaba, SP: Esalq/USP, 2016.
- QIN, Y. et al. GC-MS analysis of membrane-graded fulvic acid and its activity on promoting wheat seed germination. **Molecules**, v. 21, n. 10, 1 out. 2016.
- RHEINHEIMER, D. DOS S. et al. Modificações nos atributos químicos de solo sob campo nativo submetido à queima. **Ciência Rural**, v. v. 33, n. n. 1, p. 49–55, 27 fev. 2003.
- RHEINHEIMER, D. S. et al. Residual effect of surface-applied lime on soil acidity properties in a long-term experiment under no-till in a Southern Brazilian sandy Ultisol. **Geoderma**, v. 313, p. 7–16, 1 mar. 2018.
- SAMSON, R. et al. The potential of C4 perennial grasses for developing a global BIOHEAT Industry. **Critical Reviews in Plant Sciences**, set. 2005.
- SANO, E. E. et al. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 166, n. 1–4, p. 113–124, jul. 2010.
- SANO, E. E. et al. Cerrado ecoregions: A spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation. **Journal of Environmental Management**, v. 232, p. 818–828, 15 fev. 2019.
- SANTOS, H. G. DOS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2018. v. 5
- SAVIOLI, J. S. et al. Desempenho operacional e atributos físicos do solo sob tráfego de trator agrícola. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, p. e3269119903, 15 nov. 2020.
- SCHUMACHER, M. V. et al. LITTER PRODUCTION AND DECOMPOSITION IN Eucalyptus urophylla x Eucalyptus globulus maidenii STAND. **Cerne**, v. v. 19, n. 3, p. 501–508, 2013.

- SILVA, D. M. DA et al. Os efeitos de regimes de fogo sobre a vegetação do Cerrado no Parque Nacional das EMAS, GO: Considerações para a conservação da diversidade. **Biodiversidade Brasileira**, p. 26–39, 2011.
- SILVA, G. R. DA; SILVA, M. L. J. DA; MELO, V. S. DE. Efeitos de diferentes usos da terra sobre as características químicas de um latossolo amarelo do Estado do Pará. **Acta Amazonica**, v. 36, n. 2, p. 151–158, 2006.
- SINGH RANDHAWA, K.; CHAUHAN, R. Stabilizing black cotton soil in subgrade with municipal solid waste incineration ash for lowering greenhouse gas emission: A review. **Materials Today: Proceedings**, ago. 2021.
- SKORUPA, A. L. A.; BARROS, N. F. DE; NEVES, J. C. L. Forest Litter Decomposition As Affected By Eucalyptus Stand Age And Topography In South-Eastern Brazil. **Revista Árvore**, v. 39, n. 6, p. 1055–1064, 1 dez. 2015.
- SOARES, M. B. et al. Integrated production systems: An alternative to soil chemical quality restoration in the Cerrado-Amazon ecotone. **Catena**, v. 185, 1 fev. 2020.
- SOARES, S. DA C. et al. Atributos Químicos De Um Argissolo Vermelho-Amarelo Influenciado Pela Queimada Após Nove Anos De Pousio No Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v. v. 9, n. n. 3, p. 9–17, set. 2019.
- SOTERRONI, A. C. et al. Expanding the Soy Moratorium to Brazil's Cerrado. **Science Advances**. 2019. Disponível em: <<http://advances.sciencemag.org/>>.
- SOUZA, A. et al. Gramíneas do cerrado: carboidratos não-estruturais e aspectos ecofisiológicos. **Acta Botânica Brasileira**, 19(1):81-90. 2005.
- SOUZA, Z. M. DE; ALVES, M. C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 18–23, abr. 2003.
- SPERA, S. T. et al. Características Físicas De Um Latossolo Vermelho-Escuro No Cerrado De Planaltina, Df, Submetido À Ação Do Fogo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. V. 35, n. 9, p. 1817–1824, 2000.
- TOMASELLA, J. et al. Desertification trends in the Northeast of Brazil over the period 2000–2016. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 73, p. 197–206, 1 dez. 2018.
- VALADÃO, F. C. DE A. et al. Adubação Fosfatada E Compactação Do Solo: Sistema Radicular Da Soja E Do Milho E Atributos Físicos Do Solo. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 39, n. 1, p. 243–255, 2015.
- VALLADARES, G. S. et al. **Proposta para Classificação de Organossolos em Níveis Inferiores com Base nas Frações**. Campinas, SP. Embrapa Monitoramento por Satélite, dez. 2003.

- VAN VLIET, P. C. J.; COLEMAN, D. C.; HENDRIX, P. F. Population dynamics of Enchytraeidae (Oligochaeta) in different agricultural systems. **Biology and Fertility of Soils**, v. 25, n. 2, p. 123–129, 5 ago. 1997.
- VIEIRA, A. S. et al. Estimating water erosion from the brightness index of orbital images: A framework for the prognosis of degraded pastures. **Science of the Total Environment**, v. 776, 1 jul. 2021a.
- VIEIRA, J. A. G. et al. Produção de Serapilheira e Retorno de Nutrientes ao Solo pela Espécie *Eucalyptus urograndis* Litter Production and nutrients return to Soil by Specie *Eucalyptus urograndis*. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. v. 4, n. n. 2, p. 40–43, 2009.
- VIEIRA, R. M. DA S. P. et al. Land degradation mapping in the MATOPIBA region (Brazil) using remote sensing data and decision-tree analysis. **Science of the Total Environment**, v. 782, 15 ago. 2021b.
- VIEIRA, S. A. et al. Estimation of biomass and carbon stocks: the case of the Atlantic Forest. **Biota Neotropica**, v. 8, n. 2, p. 21–29, jun. 2008.
- VILLA, E. B. et al. Aporte de Serapilheira e Nutrientes em Área de Restauração Florestal com Diferentes Espaçamentos de Plantio. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 1, p. 90–99, 19 fev. 2016.
- WANG, S. et al. Phosphorus Loss Potential and Phosphatase Activity under Phosphorus Fertilization in Long-Term Paddy Wetland Agroecosystems. **Soil Science Society of America Journal**, v. 76, n. 1, p. 161–167, jan. 2012.
- WATCHARAMONGKOL, T.; CHRISTIN, P. A.; OSBORNE, C. P. C4 photosynthesis evolved in warm climates but promoted migration to cooler ones. **Ecology Letters**, Blackwell Publishing Ltd, 1 mar. 2018.
- WATSON, C. J.; MATTHEWS, D. I. A 10-year study of phosphorus balances and the impact of grazed grassland on total P redistribution within the soil profile. **European Journal of Soil Science**, v. 59, n. 6, p. 1171–1176, dez. 2008.
- WERNER, W. J.; SANDERMAN, J.; MELILLO, J. M. Decreased Soil Organic Matter in a Long-Term Soil Warming Experiment Lowers Soil Water Holding Capacity and Affects Soil Thermal and Hydrological Buffering. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 125, n. 4, 1 abr. 2020.
- WERTEBACH, T. M. et al. Soil carbon sequestration due to post-Soviet cropland abandonment: estimates from a large-scale soil organic carbon field inventory. **Global Change Biology**, v. 23, n. 9, p. 3729–3741, 1 set. 2017.
- YOUSUF, A.; SINGH, M. **Watershed Hydrology, Management and Modeling**. 1 st. ed. Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor & Francis Group, [2020]: CRC Press, 2019.

ZHAO, Y.; LI, Y.; YANG, F. Critical review on soil phosphorus migration and transformation under freezing-thawing cycles and typical regulatory measurements. **Science of The Total Environment**, 751, 141614. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.1416 (2021).