



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

**JAYNE SOUSA ANTUNES**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO SOB DIFERENTES  
USOS NO CERRADO MARANHENSE**

Imperatriz - MA

2022



**JAYNE SOUSA ANTUNES**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO SOB DIFERENTES  
USOS NO CERRADO MARANHENSE**

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

**Orientadora:** Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Alinne da Silva.

Imperatriz - MA

2022



A636a

Antunes, Jayne Sousa

Atributos químicos de um latossolo vermelho sob diferentes usos no cerrado maranhense. / Jayne Sousa Antunes. – Imperatriz, MA, 2022.

33 f.; il.

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

1.Fertilidade do solo. 2.Cerrado maranhense. 3.Latossolo vermelho. 4.Imperatriz - MA. I. Título.

CDU 631.41(812.1)

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



**JAYNE SOUSA ANTUNES**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO SOB DIFERENTES USOS NO  
CERRADO MARANHENSE**

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

Aprovado em: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

*Alinne da Silva*

\_\_\_\_\_  
Dr.<sup>a</sup> Alinne da Silva  
Doutora em Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente.  
(Orientadora)

*Thatyane Pereira de Sousa*

\_\_\_\_\_  
Dr.<sup>a</sup> Thatyane Pereira de Sousa  
Doutora em Agronomia  
(Membro)

*Járisson Cavalcante Nunes*

\_\_\_\_\_  
Dr. Járisson Cavalcante Nunes  
Doutor em Agronomia  
(Membro)



Dedico aos meus pais, Maria Nazarene Sousa e  
Juarez Antunes.



## RESUMO

O Cerrado é caracterizado como a última fronteira agrícola do Brasil e tem sua biodiversidade ameaçada. Este projeto teve como objetivo avaliar os atributos químicos de um Latossolo Vermelho sob diferentes usos no cerrado maranhense. O estudo foi conduzido na Fazenda Santa Elisa, localizada no município de Porto Franco, na região Sul do estado do Maranhão. A área experimental foi selecionada com base no uso da terra para pastagem extensiva com histórico de agricultura (PE) e uma área de referência, sendo esta uma floresta nativa estacional semidecidual do bioma Cerrado (FL). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com dois tipos de uso do solo (PE e FL), quatro profundidades (0-5 cm; 5-10 cm; 10-20 cm e 20-30 cm) e quatro repetições. As coletas de amostras de solo foram realizadas por meio de abertura de trincheiras. Os atributos químicos analisados foram: potássio, cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, fósforo disponível, potencial hidrogeniônico, acidez potencial, matéria orgânica, estoque de carbono orgânico, soma de bases, capacidade de troca de catiônica, saturação de bases e saturação de alumínio. Os resultados foram verificados quanto à normalidade e homoscedasticidade e submetidos a análise de premissas de variância (ANOVA) e teste de Tukey a 5% de probabilidade. Também foi aplicada análise de componentes principais (ACP). Devido à aplicação de calagem e fertilização, houve melhoria em todos os indicadores da fertilidade do solo da área de pastagem extensiva. O teor de matéria orgânica foi maior na área cultivada, devido a biomassa gerada, especialmente, pelas gramíneas perenes tropicais, no entanto não houve alterações nos estoques de carbono orgânico, comparado com o solo da área de floresta nativa.

Palavras-chave: Fertilidade do solo. Floresta nativa. Pastagem extensiva. Antropização. Expansão agrícola.



## ABSTRACT

The Cerrado is characterized as the last agricultural frontier of Brazil and has its threatened. This project aimed to evaluate the chemicals of an Attributes Red Latosol under different uses in the Cerrado of Maranhão. The study was located in the municipality of Fazenda Santa Elisa, in the region of Porto Franco, southern region of Maranhão. An experimental area was selected based on land use for extensive pasture with a history of agriculture (PE) and a reference area, being a seasonal semideciduous native forest of the Cerrado biome (FL). The experimental design was completely randomized, with two soil types (PE and FL), four depths (0-5 cm; 10-20 cm and 20-30 cm) and four replications. Soil samples were collected by opening trenches. The chemical attributes, analysis capacity were: potential, calcium, magnesium, aluminum and exchangeable, phosphorus, potential, available organic, stock of organic carbon, sum of hydrogenionic aluminum exchange bases, base saturation and aluminum saturation. The selected results were selected for normality and homoscedasticity and evaluation regarding the analysis of variance assumptions (ANOVA) and Tukey's test with 5% probability. Principal component analysis (PCA) was also applied. Due to the application of liming and fertilization, there was an improvement in all soil fertility indicators of the detailed pasture area. The organic organic matter was built up, due to the higher biomass, specially designed, by the tropical perennial grasses, with no changes in the organic carbon materials, compared to the organic organic matter.

Keywords: Soil fertility. Native forest. Extensive pasture. Athropization Agricultural expansion.



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Objetivo geral.....</b>	<b>3</b>
<b>2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>3</b>
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
<b>3.1 Cerrado maranhense.....</b>	<b>4</b>
<b>3.2 Atributos químicos do solo .....</b>	<b>5</b>
<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>8</b>
<b>4.1 Caracterização da área experimental .....</b>	<b>8</b>
<b>4.2 Coleta das amostras de solo e variáveis analisadas .....</b>	<b>10</b>
<b>4.3 Análise estatística.....</b>	<b>11</b>
<b>5 RESULTADOS .....</b>	<b>12</b>
<b>6 DISCUSSÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>7 CONCLUSÃO.....</b>	<b>20</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>21</b>





## 1 INTRODUÇÃO

O Cerrado é considerado o segundo maior bioma brasileiro, compreende cerca de 204 milhões de hectares que representa 24% de todo o território nacional (EMBRAPA CERRADOS, 2005). O bioma abrange 1.389 municípios, e se estende, de forma contínua, nos estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia, Maranhão, Piauí, Rondônia, Paraná e São Paulo. No Maranhão, o bioma Cerrado abrange cerca de 65% do seu território (IBGE, 2019; SOUZA; MARTINS; DRUCIAKI, 2020).

No sentido fisionômico, o bioma Cerrado é caracterizado como savana (SANO; ALMEIDA; RIBEIRO, 2008). Klink e Machado (2005) consideram o Cerrado brasileiro savana tropical mais diversificada do mundo, a qual possui características favoráveis, que determinam sua expressiva relevância territorial e estratégica para o país. Os solos da região, em geral, são profundos e bem drenados, porém com baixos níveis de fertilidade e alta toxicidade de Al (SANO et al., 2019).

Segundo Klink e Machado (2005), a baixa fertilidade dos solos não foi um obstáculo para o avanço da agricultura moderna. Os autores Sano et al. (2019) destacam que, a categorias de uso da terra mais importantes no Cerrado são as pastagens cultivadas, principalmente, com gramíneas para pecuária, soja, milho, algodão e café. Esse avanço se demonstrou presente nas últimas décadas, com o avanço da fronteira agrícola no Cerrado para a região Norte e Nordeste, assim caracterizando o território agrícola, atualmente conhecido como MATOPIBA, que compreende uma parte dos estados do Maranhão, Tocantins Piauí e Bahia (SOUZA; MARTINS; DRUCIAKI, 2020).

Os diferentes usos do solo pela atividade agrícola podem provocar alterações na fertilidade do solo, pelo aumento da qualidade nutricional dos resíduos adicionados no sistema de plantio direto e pela aplicação de insumos agrícola (LIMA et al., 2010). Essas alterações modificam a capacidade produtiva, principalmente, de ambientes condicionados a solos ácidos e intemperizados. Tais alterações edáficas estão relacionadas com a dinâmica da matéria orgânica e com o ciclo biogeoquímico dos elementos (MAFRA et al., 2008).

As recorrentes alterações edáficas também podem ocasionar degradação do solo, acarretando a perda da produtividade, fazendo com que seja necessário a implantação de técnicas de correção da acidez do solo que visem a recuperação e a máxima produção do solo (SILVA et al., 2020). Nesse sentido, os atributos químicos do solo podem atuar como fatores que determinam a qualidade do solo e apontam os efeitos provocados pela antropização e manejo não adequado do solo.



Segundo SANTOS (2010), o conhecimento dos atributos químicos do solo permite a compreensão da dinâmica de liberação dos nutrientes para as plantas, além de fornecer suporte para adequação da adubação e irrigação e desta forma, aumentar o rendimento agrícola. O estudo dos indicadores químicos também pode favorecer a detecção de elementos em excesso no solo, principalmente os elementos tóxicos que causam prejuízos às plantas.

A utilização do solo de maneira sustentável deve ocorrer respeitando suas aptidões e limitações ao cultivo, sendo indispensável para o sucesso na prática agrícola. De forma a garantir o uso racional deste recurso natural, deve-se considerar as classes de solo, bem como seus atributos físicos e químicos (ALOVISI et al., 2021).

Os valores referentes aos atributos químicos do solo podem variar conforme a profundidade deste. Segundo os autores Silveira e Stone (2002), nas culturas anuais cultivadas sob plantio convencional o maior volume do sistema radicular e as maiores alterações químicas e físicas ocorrem na camada de 0-20 cm de profundidade. Neste contexto, o projeto foi baseado na hipótese de que o uso do solo para pecuária extensiva causou alterações nos indicadores de fertilidade do solo e diminuição nos estoques de carbono orgânico do solo.



## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivos Gerais**

Avaliar os atributos químicos de um LATOSSOLO VERMELHO sob diferentes usos no cerrado Maranhense.,

### **2.2 Objetivos Específicos**

Analisar os atributos químicos do solo com histórico de agricultura e pastagem extensiva no bioma Cerrado;

Verificar as alterações químicas do solo, em diferentes profundidades, provocadas pelo uso da área para agricultura e pecuária extensiva no bioma Cerrado Maranhense;

Avaliar os estoques de carbono orgânico na área de floresta nativa e na área com histórico de agricultura e pecuária extensiva.



### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Cerrado maranhense

O Cerrado é um dos biomas mais ricos em biodiversidade no mundo, abrigando 12.829 espécies de plantas nativas já catalogadas (BFG, 2021) e ainda possui alto nível de endemismo com cerca de mais de 4.800 espécies de plantas e vertebrados. O bioma também conta com as três maiores bacias hidrográficas da América do Sul (Amazônica/Tocantins, São Francisco e Prata) (SALOMON, 2020) concentrando 43% de toda a água do país existente fora da bacia amazônica (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2018).

A região do Cerrado possui solos de baixa fertilidade natural, reduzido teor de matéria orgânica (de 3 a 5%), além de estar submetido a sazonalidade do clima. Estes fatores influenciam no potencial de exploração agrícola, causando riscos à segurança alimentar e a economia. Atualmente, o Cerrado possui cerca de 45% a 50% do bioma antropizado com usos agrícolas, pastagens, silvicultura, urbanizações e minerações (VICTORIA et al., 2020).

A partir da década de 70, houve a expansão da pecuária extensiva a partir da Revolução Verde (BOAVENTURA et al., 2019), que resultou em políticas e incentivos do Governo Federal para estimular a ocupação e ampliação da fronteira agrícola com investimentos em transporte, plantas adaptadas às condições edafoclimáticas do Cerrado e correções da acidez e salinidade do solo (SANTANA et al., 2020). A partir disso, o Cerrado passou a ser considerado a nova fonte de commodities e produção de grãos para o agronegócio (BOAVENTURA et al., 2019).

Até os anos 1970, o bioma era uma zona indefinida e pouco cobiçada, onde a principal atividade econômica baseava-se na criação extensiva de animais bovinos. A ocupação intensiva do Cerrado como fronteira agrícola ocorreu a partir da modernização agrícola, com o plantio de soja por volta de 1980, época na qual os solos ácidos e pouco férteis e com baixa produtividade da região foram corrigidos com adição calcário e fertilizantes (AUBERTIN, 2013).

Em 1975, o Brasil totalizou R\$ 223 bilhões (considerando o valor atual do Real) e quarenta anos depois, esse valor somou R\$ 294 bilhões. A agricultura brasileira e seu desempenho nas últimas décadas refletem a importância do Cerrado para a economia do País, principalmente para a segurança alimentar global (SANTANA et al., 2020).

Segundo Lange (2019), a pecuária caracterizada como extensiva, que produz como fonte principal a pastagem como alimento para os animais, a partir da utilização de técnicas que



busquem a maior capacidade produtiva com menor investimento em insumos, em geral, vem se degradando ao longo do tempo. As condições climáticas favoráveis promovem o predomínio de pastagens no Brasil que permitem grande variação de espécies forrageiras.

Por conta disso, em busca de maior eficiência na produção animais a pasto, produtores vêm investindo no refinamento das técnicas de produção visando o aumento da capacidade e longevidade das pastagens e recuperação de áreas degradadas (DIAS-FILHO, 2014).

### 3.2 Atributos químicos do solo

Os atributos ou indicadores químicos do solo podem ser agrupados em variáveis relacionadas com a acidez do solo, medidas de disponibilidade das bases trocáveis e teor de carbono (CARNEIRO, 2010). O solo é considerado fértil quando contém todos os nutrientes essenciais em quantidades disponíveis e balanceadas em forma assimilável, também deve estar razoavelmente livre de materiais tóxicos e, além disso, apresentar propriedades físicas adequadas (RONQUIM, 2020).

A reação ou acidez do solo, interfere em diversos processos biológicos, químicos e físico-químicos no solo. A acidez do solo pode ser determinada pela acidez ativa e acidez potencial. A acidez ativa é medida pelo pH e refere-se aos íons de  $H^+$  dissociados na solução do solo. A acidez potencial é constituída de duas frações, sendo estas: a) acidez trocável representadas pelos íons de  $Al^{3+}$  e pequena porção de  $H^+$  trocável adsorvido aos coloides do solo; b) acidez não trocável, constituída pelos íons de  $H^+$  dissociáveis de diversas fontes (matéria orgânica, minerais de argila e provenientes da hidrólise do  $Al^{3+}$ ) (BATISTA et al., 2018).

Os macros e micronutrientes estão presentes nos constituintes dos minerais e da matéria orgânica, sendo encontrados no substrato ou dissolvidos no solo (RONQUIM, 2020). Segundo Zardin (2018), a absorção de nutrientes pelas plantas depende da disponibilidade destes na solução do solo, seja pela liberação da superfície dos coloides para a solução do solo ou pela reposição proporcionada pela fertilização.

Os macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) são os macronutrientes principais, absorvidos em maior proporção pelas plantas, enquanto o boro (B), zinco (Zn), cobre (Cu), ferro (Fe), molibdênio (Mo), cloro (Cl) e manganês (Mn), são os micronutrientes, requeridos pelas plantas em menores quantidades. Além destes, existem também os elementos benéficos, que não são essenciais, mas podem estimular e promover o crescimento em algumas espécies de plantas em determinadas condições (RONQUIM, 2020).



O fósforo é um dos nutrientes mais importantes para a produção agrícola no Cerrado, uma vez que sua disponibilidade para as plantas, em condições naturais, é muito baixa. Tal disponibilidade está relacionada à grande reatividade e à alta taxa de retenção de seus íons pelos colóides das argilas do solo (SOUSA et al., 2016; MENDES; JUNIOR, 2003).

O fósforo está presente em pequenas quantidades na solução do solo, forma pela qual é adsorvido pelas plantas. Assim que o fósforo é retirado da solução do solo pelas plantas, o solo é reabastecido pelo fósforo contido nos minerais do solo e na matéria orgânica a partir de fracas ligações (P-lábil), no entanto, com o tempo, ligações mais estáveis ocorrem, fixando o P no solo de forma não lábil, ou seja, de forma não disponível para as plantas (BEZERRA et al., 2013).

Assim como o fósforo, a maior proporção de potássio (98%) encontra-se nas estruturas dos minerais em forma não disponível para as plantas, este é denominado de K estrutural. Apenas uma pequena fração ligada às cargas negativas das argilas e a solução do solo encontra-se disponível para as plantas, sendo denominado K trocável (PREZOTTI; GUARÇONI, 2013). Teores baixos de potássio indicam solos mais intemperizados, para elevação de K devem ser aplicadas doses de adubo potássico, administrados cautelosamente pois podem influenciar na salinização do solo (SOBRAL et al, 2015; REIS et al., 2017).

As bases trocáveis ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) fazem parte do complexo sortivo do solo, sendo este o conjunto de partículas trocadoras de íons no solo (TEIXEIRA et al., 2017). As bases trocáveis também são indicadores do grau de intemperismo do solo, em solo mais jovens com menor grau de intemperismo apresentam teores mais elevados de bases trocáveis.

Algumas relações podem ser obtidas a partir do resultado das análises da disponibilidade dos elementos químicos, como a capacidade de troca catiônica (CTC), soma de bases (SB), saturação por alumínio (m) e saturação por bases (V) (MOREIRA et al., 2020). A capacidade de troca catiônica (CTC), indica a quantidade total de cargas negativas que o solo poderia apresentar se o seu pH fosse 7. Segundo Prezotti e Guarçoni (2013), a CTC é representada pelo montante de íons positivos e cátions que podem ficar retidos nas cargas negativas da superfície porosa e heterogênea do solo. A CTC é dada pela soma das bases trocáveis ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$ ) com a acidez potencial ( $\text{H} + \text{Al}$ ).

A soma de bases representa a soma das bases trocáveis presentes no solo, ou seja, dos elementos ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) (PREZOTTI; GUARÇONI, 2013), tais elementos indicam o grau de intemperismo do solo, portanto, quanto maior o teor encontrado nestes quatro elementos menor o grau de intemperismo (SOBRAL et al, 2015). A saturação por alumínio representa o percentual de alumínio trocável em relação a CTC efetiva do solo ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  +  $\text{Al}^{3+}$ ).



Já a saturação por bases, indica o percentual da CTC ocupado por bases trocáveis (MOREIRA et al., 2020).

A matéria orgânica (MO) do solo é formada por resíduos animais e vegetais como folhas, flores, frutos, galhos, raízes e exsudados de raízes, microrganismos e outros. É constituída, principalmente, por C, H, O, N, S e P. Em solos tropicais a MO contribui com até 80% das cargas negativas do solo, influenciando diretamente na CTC e no estoque de carbono orgânico (PREZOTTI; GUARÇONI, 2013). Para diminuir a perda de nutrientes do solo promovendo a fertilidade práticas de manejo que visem aumentar ou preservar os teores de matéria orgânica devem ser priorizadas (DIAS-FILHO; LOPES, 2021).

A MO também influencia nos teores de carbono orgânico, este por sua vez, possui influência sobre diversas funções do solo como a ciclagem de nutrientes e fertilidade (COSTA et al., 2018). O Brasil possui grande potencial para aumentar os estoques de carbono (ECO) do solo e diminuir as emissões que provocam o efeito estufa. Segundo Troian et al. (2020), 58% do território brasileiro é coberto por florestas naturais e plantas capazes de contribuir com o estoque de carbono.

Alguns sistemas de manejo da terra com o plantio direto, sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) sob plantio direto, a adoção de reflorestamentos, o manejo das pastagens e outros podem influenciar consideravelmente na alteração dos estoques de carbono e na emissão de gases de efeito estufa (CARVALHO et al., 2009).

As alterações dos atributos químicos devem ser avaliados em profundidades de até 40 cm a depender do tipo de plantio. A análise deve ser feita observando o critério de profundidade, pois em até 40 cm ocorre a exploração do sistema radicular para absorção dos nutrientes pela maioria das plantas, sendo também região que recebe contribuições externas para o solo como a adubação, calagem e fertilização.

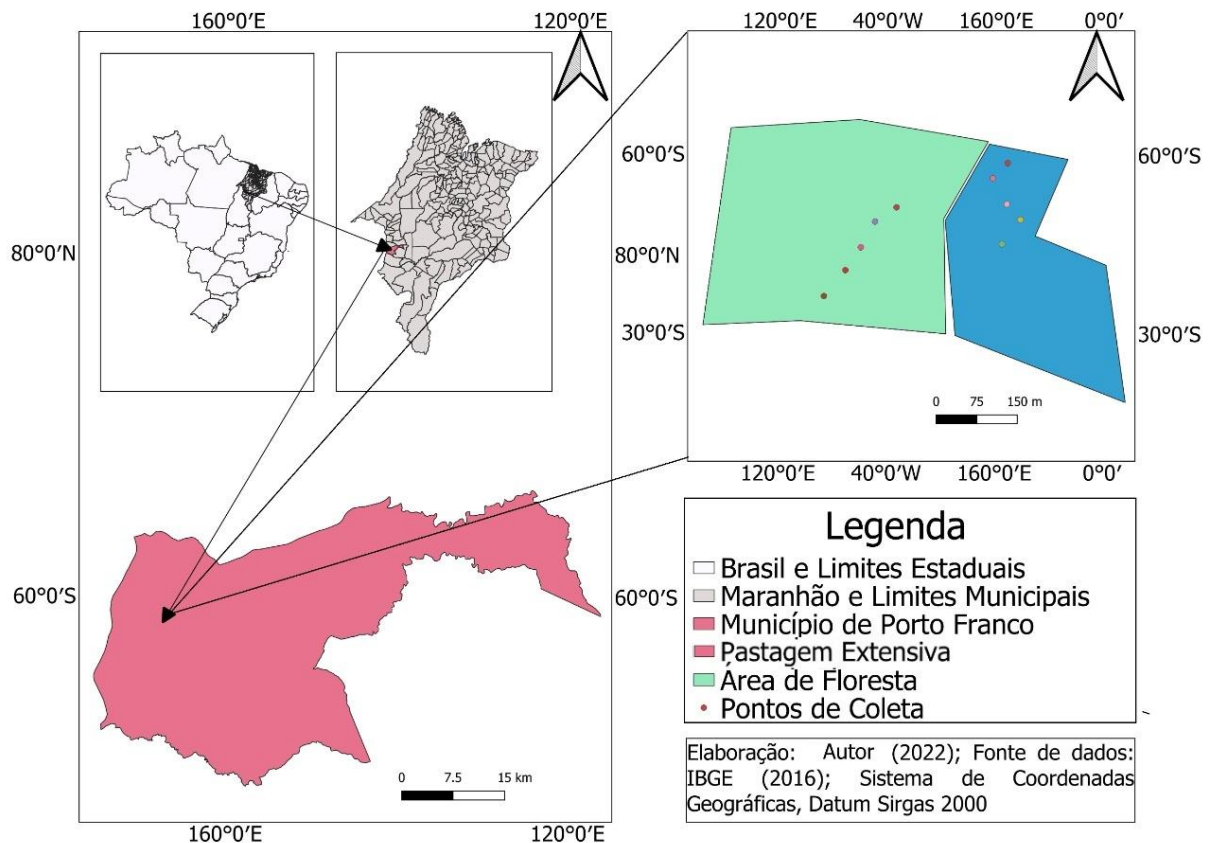


## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Caracterização da área experimental

O estudo foi conduzido no mês de maio de 2021, na Fazenda Santa Elisa, localizada no município de Porto Franco, na região Sul do estado do Maranhão (Latitude: 6° 20' 29" Sul, Longitude: 47° 24' 6" Oeste), inserida no bioma Cerrado Maranhense, Região Nordeste do Brasil (Figura 1). O município de Porto Franco está localizado na Mesorregião Sul Maranhense no extremo sul do estado do Maranhão, sendo considerada uma de três Microrregiões do Sul do Maranhão, dentre elas a Chapada das Mangabeiras, Gerais de Balsas e Porto Franco (AMARAL et al., 2016).

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



**Fonte:** Autor (2022).

De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, o clima predominante na região é tropical quente e úmido, caracterizado como AW' com duas estações bem definidas. O período chuvoso ocorre entre os meses de dezembro a maio, apresenta registros estaduais da ordem de



290,4 mm mensais e alcança os maiores picos de chuva no mês de março. O período seco se estende entre os meses de junho a outubro, apresenta média mensal de 17 mm, com menor incidência de chuva no mês de agosto e médias estaduais da ordem de 17,1mm. A média de precipitações anuais alcançam 1.250 mm e as oscilações térmicas durante o ano variam entre 21,5 °C e 32,1 °C (LABGEO, 2002; CORREIA et al., 2011).

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). A textura foi classificada como 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 (SANTOS, 2018). O relevo da região é formado pela depressão de Balsas (CORREIA et al, 2011), e está inserido na Unidade Geomorfológica do Pediplano Central do Maranhão. A origem desta é predominantemente erosiva, apresenta relevo fortemente irregular, resultado da união dos vales dos rios Parnaíba, Canindé, Corda, Gurguéia, Mearim e Alpercatas (PINHEIRO et al, 2009).

As áreas experimentais foram selecionadas com base no uso da terra, e estão localizadas na mesma posição do relevo, adjacentes e separadas por cerca: a) a área de solo sem cobertura com histórico de pastagem extensiva (PE) e b) área de floresta nativa do bioma Cerrado caracterizada como floresta estacional semidecidual (FL) (Figura 1). O histórico do uso do solo em ambas as áreas foi fornecido pelo proprietário (Tabela 1).

A área de floresta nativa (FL) é caracterizada como floresta estacional semidecidual, sem registro de manejo, em seu estado original de vegetação característica do bioma Cerrado. Esta área faz parte da porção do terreno determinada como Reserva Legal.

**Tabela 1.** Histórico do uso do solo da área de pastagem extensiva com a indicação do período e o manejo adotado.

<b>Histórico de uso do solo (Ano)</b>	<b>Uso do solo</b>
1983	Retirada da vegetação primária.
1983 - 1986	Plantio de arroz e milho.
1986 – 2002	Plantio substituído por capim andropogom e braquiária com roçagem a cada dois anos.
2002 – 2014	Cultivo de cana-de-açúcar em dois plantios e onze colheitas.

2014 – 2020	Conversão da área para pastagem extensiva, com a rebrota de braquiária e capim andropogom.
2020	Limpeza da área, com pá carregadeira, seguida de gradagem e calagem para o cultivo de soja.

Fonte: Autor (2022).

## 4.2 Coleta das amostras de solo e variáveis analisadas

As coletas das amostras de solo foram realizadas em ambas as áreas com diferentes tipos de uso do solo (PE e FL), em maio de 2021, que corresponde ao período dessem ocorrências de chuvas na Região. Em cada área experimental delimitou-se uma gleba representativa, de aproximadamente 0,75 ha, onde foram definidos cinco pontos de coleta, equidistantes 50 m entre si, registrados com o auxílio de um GPS de navegação (*Global Positioning System*).

As amostras deformadas do solo foram coletadas em quatro repetições nas seguintes profundidades: 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm. Foram abertas trincheiras de dimensão 50 cm x 50 cm x 40 cm com o auxílio de pá, observando a ocorrência de formigueiros, a fim de evitar locais com potencial para alterar a análise química. Em cada ponto de coleta, foi retirada a serrapilheira do solo. Em cada profundidade, foram coletadas amostras simples, para compor uma amostra composta. As amostras foram armazenadas em sacos plásticos etiquetados.

Os atributos químicos analisados, conforme metodologia Teixeira et al. (2017) foram: potássio ( $K^+$ ), cálcio ( $Ca^{+2}$ ), magnésio ( $Mg^{+2}$ ) e alumínio ( $Al^{+3}$ ) trocáveis, fósforo disponível (P), potencial hidrogeniônico (pH), acidez potencial (H+Al), matéria orgânica (MO). A partir destes resultados foram calculados os valores de 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).

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, por meio da equação abaixo. Em que os valores de densidade do solo foram  $1,68 \text{ g cm}^{-3}$  para PE e  $1,39 \text{ g cm}^{-3}$  para FL.

$$ECO = \frac{C_s * D_s * \left(\frac{D_{ref} * e}{D_s}\right)}{10} \quad \text{Eq. (1)}$$

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).

### 4.3 Análises estatísticas

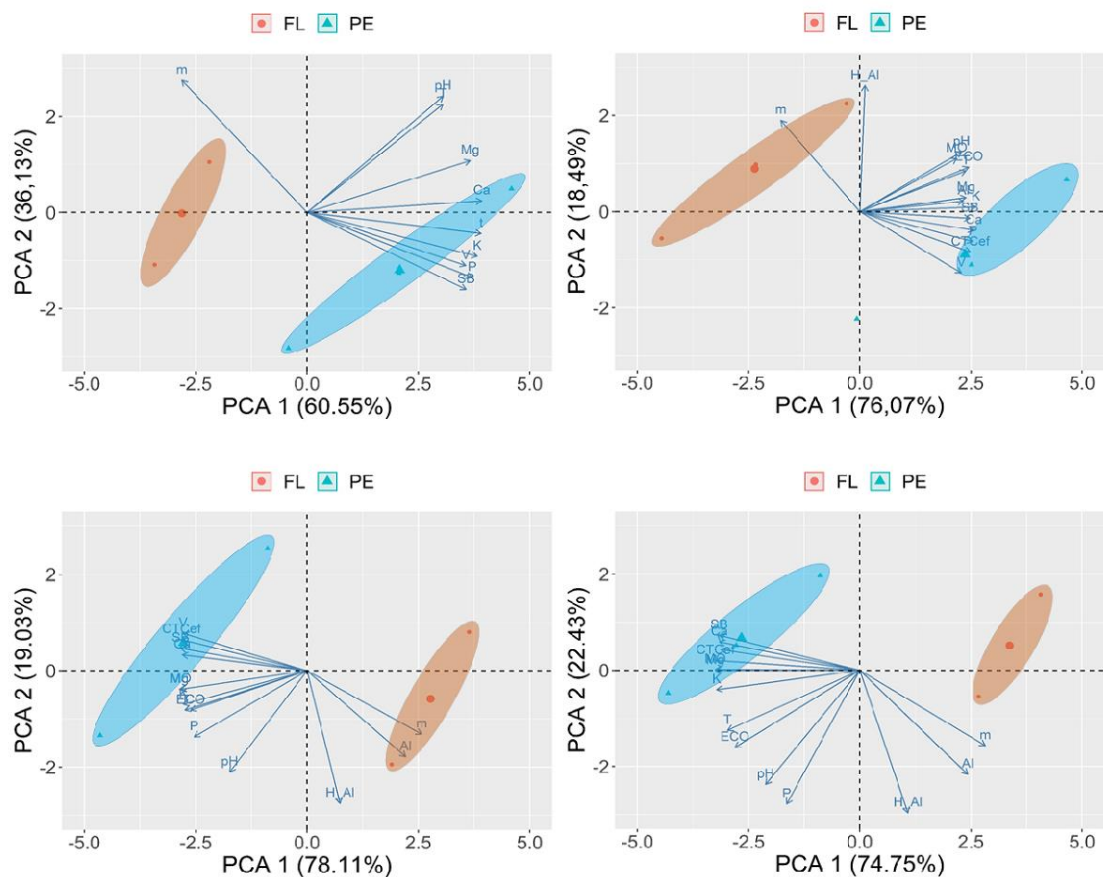
As análises estatísticas foram realizadas a partir de um delineamento inteiramente casualizado. Para garantir a análise de premissas de variância (ANOVA), os resultados foram verificados quanto à normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e homocedasticidade por Bartlett a 5% de probabilidade. As médias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



## 5 RESULTADOS

A análise de componentes principais dos atributos químicos do solo de FL e PE apresentaram resultados distintos para as variáveis analisadas, repetindo o mesmo padrão em todas as profundidades (Figura 2 A, B, C e D). As variáveis P, Ca, K, Mg, o complexo sortivo (V, t e T), MO e ECO relacionam-se entre si e em relação oposta às características do complexo de acidez do solo (H+Al, Al trocável e m), formando dois grupos distintos relacionados à PE e FL, respectivamente (Figura 2 A, B, C e D).

**Figura 2.** Análise de componentes principais (ACP) para caracterizar os atributos químicos: matéria orgânica (MO), potencial hidrogeniônico (pH), fósforo disponível (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), saturação de alumínio (m), soma de bases (SB), CTC efetiva (t), CTC a pH 7 (T) e saturação de bases (V) e estoque de carbono orgânico (ECO), em solos de pastagem extensiva (PE) e floresta (FL), nas profundidades de 0-5 cm (A), 5-10 cm (B), 10-20 cm (C) e 20-30 cm (D).



**Fonte:** Autor (2022).

A ACP para a profundidade de 0 a 5 cm explicou 96,68% (PC1 + PC2) da variância do conjunto de dados (Figura 2 A). O solo de PE apresentou uma maior concentração das variáveis analisadas, principalmente das variáveis SB e P. De forma inversa, a área de FL apresentou

correlação positiva apenas com a variável m, enquanto os demais nutrientes, MO, ECO t, T e V apresentaram correlação negativa.

A ACP para a profundidade de 5 a 10 cm explicou 94,56% da variância do conjunto de dados (Figura 2 B), e foi semelhante a ACP observada na profundidade de 0 a 5 cm. Este resultado é devido ao valor da variável m no solo de FL; Além disso, é possível observar a correlação positiva entre os indicadores de acidez (m e H+Al) e o solo de FL, a qual se eleva conforme a profundidade aumenta.

As profundidades de 10 a 20 cm e 20 a 30 cm explicaram, respectivamente, 97,14% e 97,18% da variância do conjunto de dados (Figura 2 C e D). Ambas as profundidades apresentaram forte correlação positiva entre os indicadores de acidez do solo, que por sua vez esteve presente em maior quantidade no solo de FL, enquanto os demais atributos, presentes em maior quantidade na área de PE, apresentaram correlação negativa.

Todos os atributos químicos analisados apresentaram diferença estatística para os tipos de usos do solo e profundidade (Tabela 2 e 3). Os resultados apresentados na Tabela 2 estão representados pela interação entre os tipos de uso do solo e a Tabela 2 apresenta os resultados de forma isolada.

**Tabela 2.** Valores médios de Al trocável (Al), saturação por Al (m), fósforo disponível (P) e saturação por bases (V) em amostras de solo coletadas em área de pastagem com histórico de agricultura (PE) e área de floresta (FL), nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm.

Prof. (cm)	PE		FL		PE		FL	
	Al <sup>3+</sup>		m		P		V	
	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		%		mg dm <sup>-3</sup>		%	
0-5	0,05 aB	0,30 cA	0,85 aB	6,99 cA	3,11 aA	1,04 aB	54,01 aA	39,60 aB
5-10	0,05 aB	0,31 cA	0,91 aB	9,04 cA	1,55 bA	0,87 aB	53,06 aA	33,90 abB
10-20	0,05 aB	0,47 bA	0,95 aB	22,15 bA	1,34 bA	0,94 aB	52,30 aA	21,56 bcB
20-30	0,05 aB	0,55 aA	1,17 aB	30,90 aA	0,97 bA	0,93 aA	49,58 aA	18,83 cB
CV (%)	42,17		13,93		24,50		13,58	

\*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.

Os resultados apresentados na Tabela 2 para a variável Al trocável, mostram que teor deste elemento tóxico se manteve igual a 0,50 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> em todas as profundidades analisadas no solo de PE. No entanto, houve diferença significativa entre os usos do solo e a profundidade para os valores médios observados em FL, quando comparados com os valores de PE. Em FL o teor de alumínio trocável foi superior, e variou de 0,30 a 0,55 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> com aumento significativo em profundidade.

Da mesma forma, a área de FL apresentou médias significativamente superior de saturação por alumínio, que atingiu o valor de 30,90% na camada de 20-30 cm. Enquanto o solo de PE apresentou valores estatisticamente menores, que variaram de 0,85 a 1,17% (Tabela 2).

O índice de saturação de bases apresentou os maiores valores para o solo de PE. O solo de FL, no entanto, apresentou uma menor porcentagem da variável V. O solo de FL também apresentou diferença estatística entre os níveis de profundidade e os tipos de uso do solo, enquanto o solo de PE não apresentou diferença estatística entre profundidade (Tabela 2).

Para os valores de P observados na Tabela 2, foi verificada diferença estatística entre os solos de PE e FL. No solo de PE não houve diferença significativa para os valores P entre as diferentes profundidades. No solo de FL, os valores médios de P disponível apresentaram diferença estatística apenas na última camada do solo, cujo valor de P foi  $0,93 \text{ mg dm}^{-3}$ .

O solo de FL apresentou pH a 4,55, enquanto o solo de PE apresentou 5,07, estatisticamente semelhantes entre si. A acidez trocável foi significativamente maior para a área de FL, alcançando  $5,75 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  (Tabela 3). Os macronutrientes K, Ca e Mg foram encontrados em maior quantidade no solo de PE, apresentando diferença significativa entre os usos do solo. Também foi observada a diminuição desses nutrientes conforme o aumento de profundidade.

**Tabela 3.** Valores médios de potencial hidrogeniônico (pH), acidez potencial (H+Al), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) trocáveis, capacidade de troca de cátions em pH 7 (T), MO e ECO em amostras de solo coletadas em área de pastagem com histórico de agricultura (PE), e floresta (FL), nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm.

Fator		pH	H+Al $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	K	Ca	Mg	T	MO $\text{g dm}^{-3}$	ECO $\text{Mg C ha}^{-1}$
Usos do Solo	PE	5,07	4,69 b	0,28 a	3,37 a	1,45 a	9,88 a	26,50 a	8,35
	FL	4,55	5,75 a	0,09 b	1,42 b	0,89 b	8,19 b	23,03 b	7,30
Prof. (cm)	0-5	4,99	5,40	0,26	3,01 a	1,49 a	10,18 a	31,92 a	10,06 a
	5-10	4,70	5,35	0,16	2,72 a	1,26 ab	9,61 ab	25,33 b	8,00 ab
	10-20	4,65	5,32	0,14	2,17 ab	1,06 ab	8,79 ab	22,68 bc	7,14 b
	20-30	4,90	4,82	0,17	1,68 b	0,86 b	7,54 b	19,12 c	6,02 b
	CV (%)	21,99	16,87	47,76	25,14	29,28	16,87	14,64	16,84

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

A área que apresentou maior teor de MO foi PE, com  $26,50 \text{ g dm}^{-3}$  em comparação com o solo de FL, que apresentou  $23,03 \text{ g dm}^{-3}$ . Os valores médios de ECO foram entre as áreas. No solo de PE a média foi  $8,35 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , enquanto FL apresentou valor médio de  $7,30 \text{ Mg C ha}^{-1}$  (Tabela 3).

## 6 DISCUSSÃO

Os resultados indicam a presença de um solo ácido na área de FL, devido ao baixo valor de pH e elevados valores de acidez potencial, Al trocável e saturação por Al. Os altos valores de acidez podem ser atribuídos às características originalmente distróficas da ordem dos Latossolos (CAIXETA, 2020), com baixos teores de cátions básicos (Ca, K, Mg e micronutrientes), e com predomínio de caulinita, óxidos de ferro (goethita e hematita) e óxidos de alumínio (gibbsita) (SANTOS, 2018; HAMMERSCHMITT, 2021).

Os resultados obtidos referentes aos indicadores de acidez no solo de FL foram semelhantes aos resultados alcançados por Freitas et al. (2015) e Caixeta (2020). Os autores observaram que os solos de áreas de floresta nativa do Cerrado apresentaram níveis maiores de acidez, quando comparados a outras formas de uso do solo, como pastagem ou agricultura.

Segundo Hammerschmitt (2021), os Latossolos predominantes da região do Cerrado são solos que se caracterizam pela elevada saturação por alumínio (m), alta intemperização e baixos teores de P e cátions de caráter básico. A acidificação dos solos tem como característica fatores como a diminuição do pH, aumento da acidez potencial, liberação de  $Al^{3+}$ , diminuição da disponibilidade de fósforo, entre outros.

Os valores de cátions básicos demonstraram alta correlação positiva com o solo de PE, o qual apresentou os menores índices de acidez. Tais resultados demonstram a dinâmica natural do solo, na qual os nutrientes representados pelos cátions básicos e a reatividade do complexo sortivo estão relacionados com a matéria orgânica (NOVAK et al., 2021).

Os cátions básicos K, Ca, e Mg foram estatisticamente maiores no solo de PE, e em menor quantidade no solo de FL. Os valores dos cátions básicos no solo de PE foram atribuídos ao efeito da calagem. Assim como observado por Alleoni et al. (2005) e por Santos (2020), em que a calagem elevou os valores de pH, os teores de Ca e Mg trocáveis e a saturação por bases, bem como reduziu os teores de Al trocável e a acidez potencial do solo.

Alovisi et al. (2021) verificaram que nos solos com alto teor de Ca, os teores de matéria orgânica também foram altos, o que aponta para a influência da MO do solo na manutenção desse nutriente. Por se tratar de um elemento catiônico, com pouca mobilidade, o Ca apresenta maiores concentrações nas camadas superficiais, o que corrobora com os valores superiores de MO e CTC nas camadas superficiais do solo, diminuindo com o aumento da profundidade (SIQUEIRA NETO et al., 2009). A dinâmica do Mg foi semelhante à de Ca, onde as maiores concentrações foram observadas na camada superficial do solo (0-5 cm), de forma semelhante às relatadas por Siqueira Neto et al. (2009).



Os valores médios de V (%) seguem a mesma tendência dos valores descritos para os cátions básicos K, Ca e Mg. Em ambos os casos, possuem maiores valores para a área de PE, sendo estes considerados médios, conforme interpretação fornecida por Ronquim (2020). Freitas et al. (2015), Soares (2021) e Oliveira et al. (2017) observaram tendência de valores semelhantes, ao analisarem o solo do cerrado nativo em comparação com diferentes tipos de usos do solo.

Em alguns estados do Brasil, a saturação por bases é um dos métodos utilizados para determinar a necessidade de calagem (SILVA et al., 2020). Segundo Ronquim (2020), a saturação por bases pode ser elevada com a aplicação de calagem, conforme exigência da cultura, os quais variam de 50 a 80%.

O teor de Al trocável na área de PE apresentou valores estatisticamente igual nas diferentes profundidades, assim como observado por Freitas et al. (2015). Segundo Sobral et al. (2015), o alumínio trocável presente no solo pode influenciar na disponibilidade de nutrientes, crescimento radicular e processos como a mineralização da matéria orgânica. Ambos os valores de Al trocável, em cada um dos solos analisados, foram considerados abaixo da média (SOBRAL et al., 2015). Todavia, o  $Al^{3+}$  trocável na área de FL apresentou maior valor comparado ao solo de PE. Dessa forma, em solos com valores de pH menores que 4,7 é predominante a forma de Al trocável (CAMPOS et al., 2011).

Os valores médios de H+Al foram superiores no solo de FL, corroborando com o teor de Al trocável obtido para o mesmo tratamento. Conforme Guidolini (2015), a acidez potencial é inversamente proporcional aos valores de pH. A relação entre H+Al e  $Al^{3+}$  decorre pela intemperização de minerais de argila, onde ocorre a liberação do  $Al^{3+}$  das camadas octaédricas. Este pode permanecer na superfície em forma trocável ou passar para a solução do solo (RONQUIM, 2020).

Soares (2021) cita que a maior acidez potencial ocorre devido à ausência de calcário, corroborando o fato de que o solo de PE apresentou menor valor médio de H+Al, devido a aplicação corretiva de calagem Prezotti e Guarçoni (2013), explicam que os valores de H+Al geralmente são maiores em solos com elevado teor de matéria orgânica, principalmente se estes apresentam baixos valores de pH, assim como ocorreu no solo de FL deste projeto.

Ronquim (2020) afirma que para se avaliar corretamente a toxidez por alumínio, deve ser calculado o valor da saturação por Al (m%). O valor de m indica a proporção de Al trocável em relação aos teores de cátions básicos e alumínio na CTC do solo (TEIXEIRA et al., 2017). De modo geral, os solos submetidos à calagem possuem baixa saturação por alumínio, devido a elevação do pH e neutralização do Al trocável. Tal afirmação é consolidada por Caixeta



(2020), que observou valores de m iguais a 0% em solo sob plantio convencional submetido à calagem, e m igual a 32,45% sob área nativa, sendo os valores de pH iguais a 5,25 e 4,35, respectivamente.

Portanto, verifica-se que os valores de m (%) para o solo de PE tiveram influência da prática de calagem. O solo de FL, no entanto, apresentou valores estatisticamente diferentes em relação ao tratamento e repetições analisados, conforme observado por Freitas et al. (2015). Segundo Haridasan (2008), dependendo do material de origem e da formação do solo, a saturação de alumínio em solos do Cerrado pode atingir valores de até 45% de  $Al_2O_3$ . Conforme definido por Sobral et al. (2015), valores maiores que 30% são interpretados como médios.

Além de neutralizar o Al, a calagem também diminui a fixação de P pelos óxidos e hidróxidos de Fe e Al presentes nas argilas (OLIVEIRA, 2005; PREZOTTI; GUARÇONI, 2013; RONQUIM, 2020). Tais minerais apresentam grupamento de hidroxilas que reagem com o fosfato, o qual pode ser adsorvido por meio de ligação eletrostática de alta estabilidade, dificultando assim a liberação desse nutriente para a solução do solo (BEZERRA et al., 2013).

Ambos os valores de P para cada solo analisado foram considerados abaixo do ideal. Conforme Sobral et al. (2015), valores de P abaixo de  $4 \text{ mg dm}^{-3}$  para solos argilosos são considerados baixos. Segundo Prezotti e Guarçoni (2013), o teor de P ideal para culturas anuais em solos argilosos deve ser maior que  $20 \text{ mg dm}^{-3}$ . Cassol et al. (2020), ao estudarem os teores de fósforo disponível em solos com diferentes texturas, observaram que o LATOSSOLO VERMELHO possui baixo teor de fósforo disponível, devido ao alto grau de intemperização, corroborando com os resultados obtidos por Caixeta (2020), Campos et al. (2011) e Carneiro (2010).

O teor de P no solo de PE foi estatisticamente maior que o no solo de FL. Tal fato está atribuído a aplicação de adubação fosfatada superficial, muito utilizada para suprir a deficiência de P em culturas agrícolas. Este manejo explica o maior valor disponível na camada de 0-5 cm no solo de PE. Segundo Bezerra et al. (2013), a matéria orgânica pode influenciar na redução da adsorção do P, gerando competição pelos sítios de adsorção. Quando humificada, a MO aumenta a capacidade de troca catiônica do solo e o seu poder tampão. Nas regiões de clima tropical, a MO quando em quantidades suficientes no solo, é fator decisivo para manutenção do equilíbrio dos nutrientes (RONQUIM, 2020).

Em pastagens, o estoque de MO varia de acordo com a entrada de resíduos vegetais e animais, e as taxas de saída por meio da lixiviação, oxidação e processamento pelos microrganismos do solo (DIAS-FILHO; LOPES, 2021). Segundo Hanke e Dick (2020), a alteração antrópica pode alterar a estabilização da MO, ocasionando a mineralização desta.



Os valores de MO apresentaram diferença estatística entre as áreas analisadas, em ambos os casos os valores são considerados médios a partir da interpretação fornecida por Prezotti e Guarçoni (2013) e por Sobral et al. (2015). Caixeta (2020) obteve resultado semelhante, em que o teor de MO de um LATOSSOLO VERMELHO sob preparo convencional foi superior ao valor encontrado no Cerrado nativo. Este fato foi atribuído a relação de MO com o pH do solo, que sofreu alterações com a calagem.

Os maiores teores de MO para o solo de PE pode estar associado ao aporte da biomassa subterrânea das gramíneas, cuja rebrota ocorreu em 2020 e que apresentam um sistema radicular abundante concentrado em até 10 cm do solo. Entretanto, Oliveira et al. (2017) e Siqueira Neto et al. (2009) verificaram que áreas convertidas em pastagens ou áreas de pastagens sob manejo convencional apresentam níveis baixos de MO, em relação ao solo de vegetação nativa.

A MO é um importante condicionador de cargas em solos de clima tropical, um solo com elevado teor de matéria orgânica apresenta altos valores de CTC total, (RONQUIM, 2020; SIQUEIRA NETO et al., 2009). A capacidade de troca catiônica é uma das variáveis mais importantes, pois indica a quantidade total de cargas negativas que o solo poderia apresentar caso seu pH fosse igual a 7,0 (PREZOTTI; GUARÇONI, 2013). A CTC é fortemente alterada pelo pH do meio e pela MO, principalmente pela dissociação dos radicais orgânicos ou sesquióxidos de ferro e alumínio e pela desobstrução de cargas da matéria orgânica ocupadas por  $AL^{3+}$ , Fe e Mn.

Os valores de T foram estatisticamente maiores para o solo de PE, devido a maior disponibilidade de cátions básicos promovida pela aplicação de calagem, assim como observado por Caixeta (2020). Segundo Ronquim (2020), valores de T entre 4,5 e 10  $cmol_c.dm^{-3}$  são considerados médios. Todavia, o solo de PE pode ser considerado mais fértil, pois, quando uma porcentagem elevada da CTC é ocupada por cátions básicos ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $K^+$ ), pode-se concluir que o solo em questão apresenta condições propícias ao pleno desenvolvimento vegetal (GUIDOLINI, 2015). Por outro lado, FL possui grande parte do valor de T ocupado por cátions potencialmente tóxicos, que justifica o menor valor de T observado.

O estoque de carbono no solo depende de fatores como o tipo de solo, o uso da terra, a entrada CO pela biomassa e o clima. Onde a serrapilheira é um dos principais contribuintes para a acumulação no solo (MONROE, 2015). Para os valores de ECO, ambos os tratamentos não apresentaram diferença significativa, no entanto, houve diferença estatística na média dos tratamentos para a segunda camada de solo (5-10 cm) analisada. Leite et al. (2010) obtiveram resultado semelhante analisando o estoque de carbono de um LATOSSOLO VERMELHO sob diferentes usos, onde não houve diferença significativa para no valor de ECO entre o solo de

mata nativa e plantio convencional e os maiores valores de ECO em todos os tratamentos analisados estiveram localizados na camada de 0-20 cm.

Romão (2012) obteve resultado semelhante ao analisar a ECO para solos submetidos a pastagem, agricultura e floresta. O autor acrescenta que os teores de ECO do solo diminuíram conforme a profundidade, independente do uso do solo, o que corrobora com os resultados observados para as médias em cada camada de profundidade. Isto indica que a interferência antrópica no solo de PE pelo cultivo de agricultura e pastagem não teve impacto na diminuição dos estoques de carbono no LATOSSOLO VERMELHO.



## 7 CONCLUSÃO

Devido à aplicação de calagem e fertilização, houve melhoria em todos os indicadores da fertilidade do solo na área de pastagem extensiva com histórico de agricultura. O teor de matéria orgânica foi maior na área cultivada, devido a biomassa gerada, especialmente, pelas gramíneas perenes tropicais, no entanto não houve alterações nos estoques de carbono orgânico, comparado com o solo da área de floresta nativa.



## REFERÊNCIAS

- ALLEONI, Luis Reunaldo Ferracciu; CAMBRI, Michel Alexandro; CAIRES, Eduardo Faveiro. Atributos químicos de um Latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000600010>.
- ALOVISI, A. A.; CASSOL, C. J.; TOKURA, A. M.; SOUZA, L. C. F.; ARRUDA, E. J.; SILVA, R. S. Atributos de fertilidade dos solos sob vegetação nativa do bioma cerrado. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.7, p.38-52, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.007.0004>.
- AMARAL, Yuri Teixeira; LIMA, Gustavo Pereira; PEIXOTO NETO, Carlos Alberto Algarves; COSTA, Mayanna Karlla Lima; SIQUEIRA, Glécio Machado. BIOGEOGRAPHICAL DISTRIBUTION OF THE SOUTH MESOREGION, MARANHÃO, BRAZIL. **Journal Of Geospatial Modelling**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 13, 15 dez. 2016. Journal of Geospatial Modelling. <http://dx.doi.org/10.22615/jgm-1.1-5810>.
- AUBERTIN, C. O Surgimento Do Bioma Cerrado. Ateliê Geográfico. **Ateliê Geográfico**, v. 7, n. 1, p. 5-24, 2013. ISSN 1982-1956. Disponível em:< <https://revistas.ufg.br/index.php/atelie/article/view/9387>> Acesso em: 08 jun. 2022.
- BATISTA, M.A., INOUE, T.T., ESPER NETO, M., and MUNIZ, A.S. Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral. In: BRANDÃO FILHO, J.U.T., FREITAS, P.S.L., BERIAN, L.O.S., and GOTO, R., comps. **Hortaliças-fruto** [online]. Maringá: EDUEM, 2018, pp. 113-162. ISBN: 978-65-86383-01-0. <https://doi.org/10.7476/9786586383010.0006>.
- Bezerra, A.L.L.; Lima, I.M.A.; Nascimento, B.L.M. & Aquino, B.F.de (2013) - Influência da calagem na adsorção de fósforo em diferentes solos do estado do Ceará. **Agropecuária Científica no Semiárido**, vol. 9, n. 4, p. 1-5.
- BFG (The Brazil Flora Group) 2021. Flora do Brasil 2020. 1-28 pp. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. <http://doi.org/10.47871/jbrj2021001>.
- BOAVENTURA, K.J., Luz, G. A., OLIVEIRA, M. A., da COSTA, G. D. F., SILVA, S. D., FERREIRA, A. A., & de Aquino Martins, P. T. (2019). Alterações nas paisagens do Cerrado Brasileiro pela expansão da fronteira agrícola (1987–2017). **Opción: Revista de Ciencias Humanas y Sociales**, (89), 2.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Projeto TerraClass Cerrado**: mapeamento do uso e cobertura vegetal do Cerrado. Brasília, DF, 2015. 67 p.
- BROSSARD, Michel; BARCELLOS, A. de O. Conversão do Cerrado em pastagens cultivadas e funcionamento de latossolos. **Área de Informação da Sede-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2006.
- CAIXETA, Daniele Cristina de Abreu. **Propriedades Químicas de LATOSSOLO VERMELHO Submetido a Diferentes Manejo**. 2020. 26 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso de Agronomia, Centro Universitário de Anápolis - Unievangélica, Anápolis -Go, 2020. Disponível em: <http://repositorio.aee.edu.br/jspui/handle/aee/9498>. Acesso em: 27 jul. 2022.



CAMPOS, J. R. R.; SILVA, A. C.; SILVA, E. B.; VIDAL-TORRADO, P. Extração e quantificação de alumínio trocável em Organossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.49, n.3, p.207-14, 2014. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0100-204X2014000300007>

CAMPOS, Liliane Pereira et al. Atributos químicos de um Latossolo Amarelo sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1681-1689, 2011.

CARNEIRO, S. P. **Qualidade de um LATOSSOLO VERMELHO sob diferentes tipos de usos e manejos em área do cerrado**. 2010. 125p. Dissertação (Mestrado em geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências, Belo Horizonte, 2010.

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. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.still.2008.10.022>>. Acesso em: 28 jul. 22. DOI:10.1016/j.still.2008.10.02222

CASSOL, Cleidimar João et al. Teores de fósforo disponível em solos de textura arenosa média e argilosa. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 1, p. 266-275, 2020.

CORREIA, Francisco Lages et al. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea: estado do Maranhão: relatório diagnóstico do município de Porto Franco**. Teresina: CPRM, 2011. 43 p. 1

COSTA, Tancio Gutier Ailan; IWATA, Bruna de Freitas; COELHO, Juliana Vogado; ROCHA, Israel Lobato; SANTOS, João Gabriel Pereira dos; LEOPOLDO, Nayara Caroline Moreira; ALVES, Mireia Ferreira; MACIEL, Ana Carla Ribeiro; CLEMENTINO, Gleide Ellen dos Santos. Atributos de qualidade do solo sob fitofisionomias de cerrado sensu stricto e cerradão no Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, [S.L.], v. 5, n. 10, p. 625-642, 2018. Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade. <http://dx.doi.org/10.21438/rbgas.051016>.

CUNHA, Nina Rosa da Silveira et al. A intensidade da exploração agropecuária como indicador da degradação ambiental na região dos Cerrados, Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural** [online]. 2008, v. 46, n. 2 [Acessado 1 Agosto 2022], pp. 291-323. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-20032008000200002>>. E pub 17 Dez 2008. ISSN 1806-9479. <https://doi.org/10.1590/S0103-20032008000200002>.

DIAS - FILHO M. B., & LOPES, M. J. dos S. (2021). **Fertilidade do solo em pastagem: como construir e monitorar**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1130597/1/DOC460.pdf>

DIAS-FILHO, M.B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**-. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 36p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 402).

EMBRAPA CERRADOS. **Embrapa Cerrados: conhecimento, tecnologia e compromisso ambiental**. 2. ed. Planaltina, 2005. 43 p.

FREITAS, Ludmila de et al. Atributos químicos de LATOSSOLO VERMELHO submetido a diferentes manejos. **Floresta**, v. 45, n. 2, p. 229-240, 2015.



GUIDOLINI, Janaína Ferreira. **Atributos físicos e químicos de um argissolo sob diferentes Sistemas de Uso da Terra (SUTs)**. 2015. v, 50 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, 2015.

HAMMERSCHMITT, Rodrigo Knevitz. **Residualidade e reaplicação de corretivo da acidez, associada ou não ao gesso, em Latossolo no Cerrado: alterações nos atributos químicos do solo no perfil e baixo impacto na produtividade da soja e do milho**. 2021. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rs, 2021.

HANKE, D.; DICK, D. P. Estoque de Carbono e mecanismos de estabilização da Matéria Orgânica do solo: Uma revisão . **Revista Científica Agropampa**, v. 2, n. 2, p. 171 - 190, 3 abr. 2020.

HARIDASAN, M. Alumínio é um elemento tóxico para as plantas nativas do cerrado? Pp. 1-10 In: Prado, C.H.B.A; Casali, C.A. **Fisiologia Vegetal: práticas em relações hídricas, fotossíntese e nutrição mineral**. 2008. Barueri: Manole.

IBGE. **Biomass e Sistema Costeiro-Marinho do Brasil - 1:250 000**. 2019. Disponível em:<<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/15842-biomass>>. Acesso em: 08 de junho de 2022.

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

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

LANGE, Anderson; DANTAS, Jeferson; FREDDI, Onã da Silva; BURATTO, Willian; SPAZIANI, Cassiano; CAIONE, Gustavo. DEGRADAÇÃO DO SOLO E PECUÁRIA EXTENSIVA NO NORTE DE MATO GROSSO. **Nativa**, [S.L.], v. 7, n. 6, p. 642, 11 nov. 2019. *Nativa*. <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v7i6.6838>.

LEITE, Luiz F. C. et al. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental [online]**. 2010, v. 14, n. 12 [Acessado 10 Agosto 2022], pp. 1273-1280. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1415-43662010001200004>>. E pub 02 Dez 2010. ISSN 1807-1929. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010001200004>.

LIMA, Jorge Enoch Furquim Werneck; DA SILVA, Euzébio Medrado. Estimativa da produção hídrica superficial do Cerrado. Pp. 63-72. In: A. SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J. C.; FELFILI, J. M. (orgs.). **CERRADO: Ecologia, Biodiversidade e Conservação**. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, 2005.

LIMA, Sandra Santana 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, 2010.

MAFRA, Álvaro Luiz; GUEDES, Sulamita de Fátima Figueiredo; KLAUBERG FILHO, Osmar; SANTOS, Júlio César Pires; ALMEIDA, Jaime Antônio de; ROSA, Jaqueline dalla. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. **Revista Árvore**, [S.L.], v.



32, n. 2, p. 217-224, abr. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622008000200004>.

MENDES, I. C.; JUNIOR, F. B. R. **Microrganismos e disponibilidade de fósforo (P) nos solos: uma análise crítica**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2003. 26p. (Documentos/Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111: 85)

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Ministério divulga áreas autorizadas para supressão da vegetação**. Dez. 2018.

MONROE, P. H. M. **Estoque de carbono no solo em sistemas agroflorestais de cacau no sul da Bahia, Brasil**. Campos dos Goytacazes-RJ: UENF, 2015, 96 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.

MOREIRA, W. C. L. ; ARAUJO, E. A. ; SILVA, J. F. . **Avaliação da fertilidade do solo**. In: Edson Alves de Araújo; Willian Carlos de Lima Moreira; Jessé de França Silva. (Org.). <https://editoraitacaiunas.com.br/produto/aspectos-relevantes-do-sistema-de-producao-de-culturas-agricolas-prioritarias/>. 1ed. Ananindeua: Itacaiúnas, 2020, v. , p. 57-73.

NOVAK, E.; CARVALHO, L. A.; SANTIAGO, E. F.; FERREIRA, F. S.; MAESTRE, M. R. Composição química do solo em diferentes condições ambientais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 31, n. 3, p. 1063-1085, 2021. DOI 10.5902/1980509828995. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509828995>. Acesso em: 02 ago. 2022.

OLIVEIRA, I. P. et al. Considerações sobre a acidez dos solos de cerrado. **Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos**, Goiás GO. v. 1, n. 1, p. 01-12, ago. 2005.

OLIVEIRA, T. P.; ENSINAS, S. C.; BARBOSA, G. F.; NANZER, M. C.; BARRETA, P. G. V. Atributos químicos de um Neossolo Quartzarênico de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 4, Suplemento1, p. 72-78, dez. 2017. ISSN 2358-6303.

PINHEIRO, Karina Suzana Feitosa ; COSTA, Hélio de Oliveira Souza ; SOUSA, Cláudio José da Silva de . Contribuição ao conhecimento hidrogeológico da região sul: Porto Franco - MA. In: **XVII SIMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRICOS, 2009, CAMPO GRANDE MS**. XVII SIMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRICOS, 2009. p. 5-7.

PREZOTTI, L.C.; GUARÇONI, A. **Guia de interpretação de análise de solo e foliar**. Vitória: Incaper, 2013. 104 p.

REIS, Dábio Silva dos; MACHADO, Alan Soares; OLIVEIRA, Háfef Pereira de; BUSO, Wilian Henrique Diniz. REVISÃO: efeito da adubação potássica na cultura do milho. **Colloquium Agrariae**, [S.L.], v. 13, n. 2, p. 444-449, 1 jun. 2017. Associação Prudentina de Educação e Cultura (APEC). <http://dx.doi.org/10.5747/ca.2017.v13.nesp.000249>.

ROMÃO, R. L.; **Carbono orgânico em função do uso do solo**. Dissertação, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Jaboticabal, 2012.

RONQUIM, C. C. (2020). Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. (2ª .ed.): Embrapa territorial. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1128267/1/5840.pdf>





SALOMON, M. M. R. **Quem disputa o Matopiba? Interesses e sustentabilidade na fronteira agrícola.** Tese de doutorado submetida do Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília, 2020. Disponível em: [https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/38969/1/2020\\_MartaMariaR%C3%B6heSalomon.pdf](https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/38969/1/2020_MartaMariaR%C3%B6heSalomon.pdf). Acesso em: 02 ago. 2022.

SANO, Edson Eyi et al. Dinâmica do uso das terras no Cerrado no período de 2002 a 2013. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, 2019.

SANO, Sueli Matiko; ALMEIDA, Semíramis Pedrosa de; RIBEIRO, José Felipe. **Cerrado: Ecologia e Flora**, Brasília, DF. Embrapa Cerrado. 2 v., 2008. p.1279.

SANTANA, Carlos Augusto Mattos et al. Dinâmicas agropecuárias e socioeconômicas no Cerrado, de 1975 a 2015. Pp. 141-192. In: BOLFE, É. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, K. C. (orgs.). **DINÂMICA AGRÍCOLA NO CERRADO: Análises e projeções**. Brasília, Embrapa, 2020.

SANTOS, H. G. DOS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2018. v. 5

SANTOS, Maria das Gracas Araujo dos. **Calagem em LATOSSOLO VERMELHO-Amarelo cultivado com variedades de cana-de-açúcar no Brejo paraibano**. 2020. 44 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso de Agronomia, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia - PB, 2020.

SANTOS, PR dos. Atributos do solo em função dos diferentes usos em perímetro irrigado do sertão de Pernambuco. **Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife**, 2010.

SILVA, S. B. Análise de solos para ciências agrárias. 2ª ed. Belém: Universidade Federal Rural da Amazônia, 2018.

SILVA, Michelangelo de Oliveira; VELOSO, Cássio Laurentino; NASCIMENTO, Denisson Lima do; OLIVEIRA, Jailson de; PEREIRA, Dalbert de Freitas; COSTA, Kleyton Danilo da Silva. Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Brazilian Journal Of Development**, [S.L.], v. 6, n. 7, p. 47838-47855, 2020. Brazilian Journal of Development. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n7-431>.

SILVEIRA, PM da; STONE, Luís Fernando. Profundidade de amostragem do solo sob plantio direto para avaliação de características químicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2002, 26: 157-162.

SIQUEIRA NETO, Marcos et al. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. **Acta Scientiarum. Agronomy [online]**. 2009, v. 31, n. 4 [Acessado 10 Agosto 2022], pp. 709-717. Disponível em: <<https://doi.org/10.4025/actasciagron.v31i4.792>>. Epub 25 Ago 2011. ISSN 1807-8621. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v31i4.792>.

SOARES, Maria Elisa Paraguassu. **Atributos da qualidade de um latossolo sob sistemas de uso**. 2021. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba. 2021.



SOBRAL, L.F.; BARRETTO, M.C. de V.; SILVA, A.J.; ANJOS, J.L. Guia prático interpretação de resultados de análises de solos. Aracaju: **Embrapa Tabuleiros Costeiros** (Documentos, 216), 2015, 13p.

SOUSA, D. M. G. de; NUNES, R. S.; REIN, T.A.; SANTOS JUNIOR, J. D. G. **Manejo da Adubação Fosfatada para Culturas Anuais no Cerrado**. Planaltina: **Embrapa Cerrados**, 2016. 10 p. (Circular Técnica).

SOUZA, José Carlos de; MARTINS, Patrick Thomaz de Aquino.; DRUCIANKI, Vinícius Polzin. Uso e cobertura do solo no Cerrado: panorama do período de 1985 a 2018. **Élisée - Revista de Geografia da UEG**, [S./l.], v. 9, n. 2, p. 2-15, 8 set. 2020.

TEIXEIRA P.C, DONAGEMMA G.K, FONTANA A., TEIXEIRA W.G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev e ampl. Brasília, DF: Embrapa; 2017.

TROIAN, Douglas; ROSSET, Jean Sérgio; MARTINS, Luis Felipe Batista Nandi; OZÓRIO, Jefferson Matheus Barros; CASTILHO, Selene Cristina de Pierri; MARRA, Leandro Marciano. Carbono orgânico e estoque de carbono do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, [S.L.], v. 13, n. 4, p. 1447-1469, 1 out. 2020. Centro Universitario de Maringa. <http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2020v13n4p1447-1469>.

VICTORIA, D. C.; BOLFE, E. L.; SANO, E. E.; ASSAD, E. D.; ANDRADE, R.G.; GUIMARÃES, D. P.; LANDAU, E. C. **Potencialidades para expansão e diversificação agrícola sustentável do Cerrado**. In: BOLFE, É. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, S. K. (Org.). **Dinâmica agrícola no Cerrado: Análises e projeções**. 1ed. Brasília, DF: Embrapa, 2020, v. 1, p. 229-258.

ZARDIN, Andrei Rodriguez. **Atributos químicos e mineralógicos de solos derivados de arenito, basalto e disponibilidade de Cu, Zn, Fe, Mn e Ni**. 2018. 112 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2018.

